

L'ESSENTIEL

> Avant le développement de la mécanique newtonienne, les savants n'étaient pas en mesure de décrire la trajectoire d'un corps en chute libre sur la Terre et de dire si cette chute déviait de la verticale.

> Les premières expériences ont donné des résultats parfois contradictoires. Mais les

travaux théoriques de Laplace et de Gauss ont montré que la déviation vers le sud était négligeable, contrairement à celle vers l'est. Cela a finalement été confirmé.

> Des physiciens s'intéressent encore à la question, en utilisant des descriptions plus réalistes de la Terre.

L'AUTEUR



RICHARD TAILLET
professeur de physique
à l'université Savoie
Mont Blanc et au LAPTh,
à Annecy-Le-Vieux

Chute libre, histoire d'une déviation

Lâcher des objets du haut de tours ou dans des puits de mine : une expérience maintes fois répétée par des savants désireux de déterminer si leur chute était déviée vers l'est et vers le sud. La question intéresse encore les physiciens d'aujourd'hui.

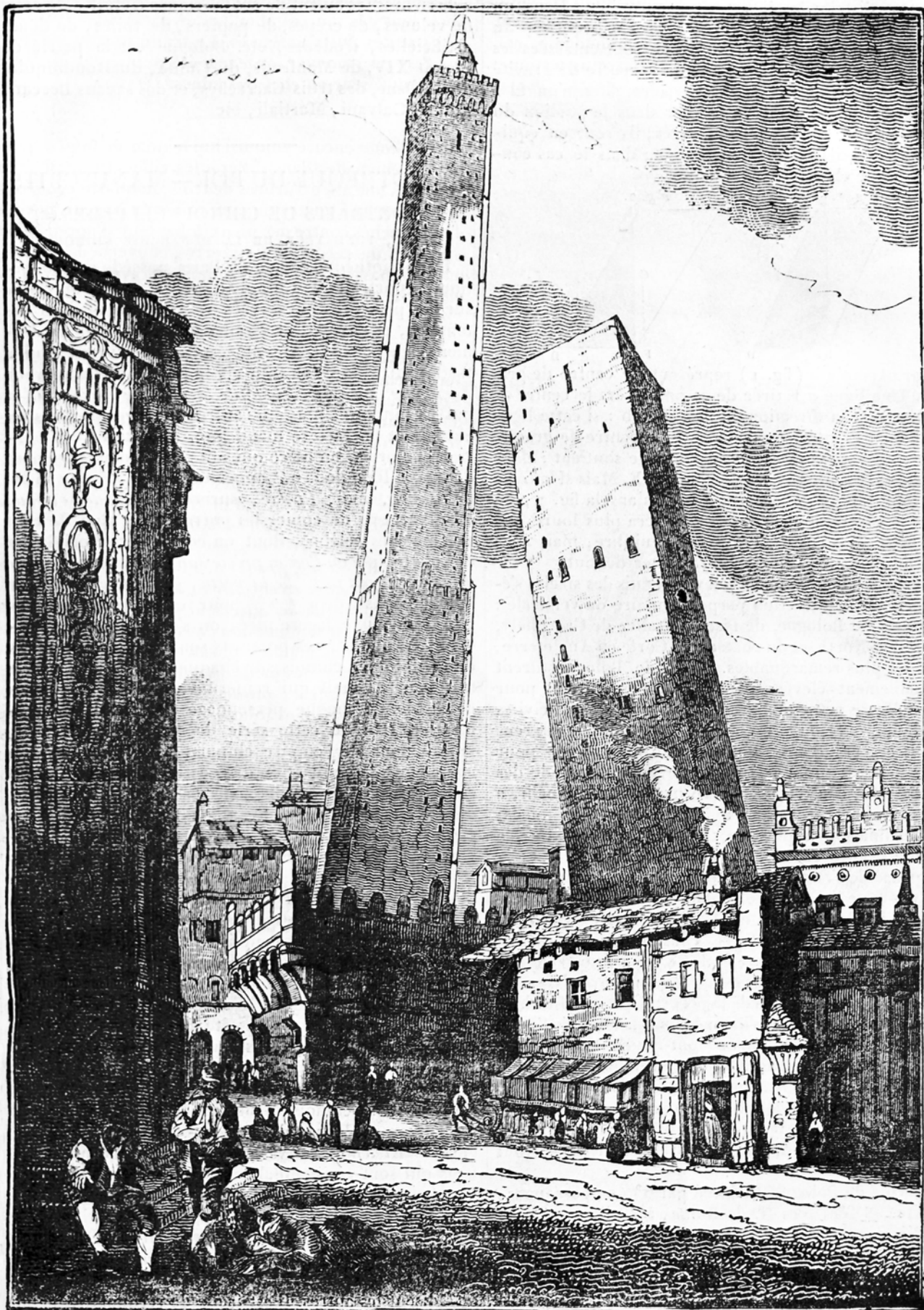
En 1903, le physicien américain Edwin Hall commençait par ces mots un article consacré à la chute des corps : « La question de savoir si une sphère lâchée d'une hauteur de quelques centaines de pieds s'écarte légèrement vers le sud de la direction d'un fil à plomb n'est peut-être pas l'un des problèmes les plus importants ni les plus urgents de la physique, mais elle a la dignité d'un âge vénérable et le charme du mystère. » Mystère en effet, car au cours des siècles précédents, les expériences conduisaient à des résultats contradictoires et seule une compréhension fine des lois de la gravitation a permis d'y voir clair. L'exercice est devenu un grand classique pour les étudiants, et des physiciens continuent de modéliser de façon plus précise la chute d'un corps s'il pouvait traverser librement la Terre.

Plusieurs siècles avant la remarque d'Edwin Hall, la question de savoir si un corps en chute libre s'éloigne de la verticale revêtait une importance fondamentale sur le plan cosmologique : les savants espéraient utiliser cette observation pour prouver que la Terre tourne sur

elle-même. Déjà, alors qu'il rédigeait *De Revolutionibus*, publié en 1543 et dans lequel il développait l'hypothèse héliocentrique, Nicolas Copernic avait saisi toute l'importance de bien comprendre la chute des corps. En effet, certaines des critiques qui lui étaient adressées argumentaient que la Terre ne pouvait pas être animée d'un mouvement de rotation, car cela aurait des conséquences spectaculaires (et non observées). Par exemple, selon ces critiques, une balle lâchée du haut d'un mât devrait atterrir plusieurs centaines de mètres à l'ouest de son point de lâcher, le mât et son support étant emportés par le mouvement de la Terre mais pas la balle, qui resterait en arrière.

Copernic lui-même, puis des coperniciens comme Thomas Digges ou Giordano Bruno, prirent grand soin de désamorcer ces objections en attribuant au projectile un mouvement circulaire (celui du point de lâcher) en plus de son mouvement vertical. Galilée, en particulier, s'efforça d'expliquer qu'une balle lâchée du haut d'un mât en mouvement est une balle lancée à la vitesse du mât, du point de vue d'un observateur qui ne participe pas au mouvement

Bologne présente deux tours penchées, symboles de la ville : Asinelli (97 mètres de hauteur) et Garisenda (48 mètres). À l'intérieur de la première, Giovanni Guglielmini a étudié en 1791 la chute des corps et leur déviation de la verticale.



de la Terre (je l'appellerai l'observateur « fixe » dans la suite). Elle doit donc avancer horizontalement à la vitesse du mât avant d'atteindre le sol. Galilée évoqua aussi, dans son *Dialogue sur les deux systèmes du Monde* (1632), la possibilité que la balle se déplace plus rapidement que le sol (car le sommet du mât avance plus vite que le sol, puisqu'il est plus loin du centre de rotation) et l'atteigne à l'est du mât plutôt qu'à son pied. Mais le savant n'argumenta pas de façon très enthousiaste, tant l'effet lui apparaissait comme une conséquence erronée d'un mauvais raisonnement.

DES RAISONNEMENTS PRÉNEWTONIENS

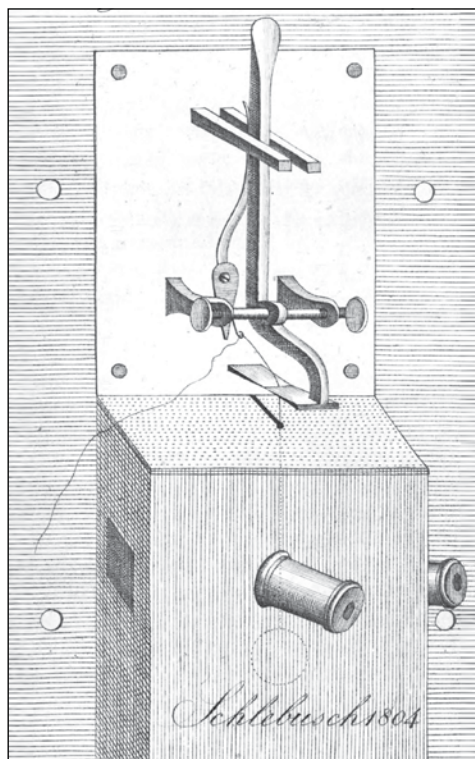
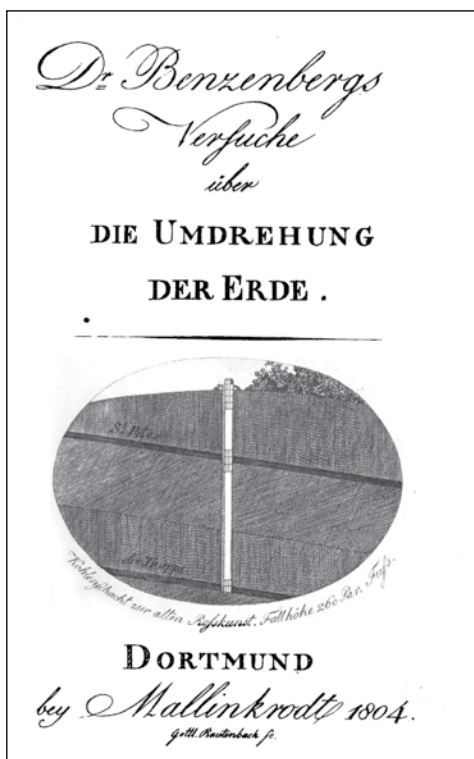
En 1679, dans une lettre adressée à Robert Hooke, Isaac Newton revint sur cette idée et montra que si la Terre tourne sur elle-même, la trajectoire d'une balle qui tombe doit être déviée vers l'est. Il comprit alors que l'expérience de chute libre était un moyen de mettre en évidence la rotation de la Terre de façon expérimentale. Cette question était un enjeu fondamental au XVIII^e siècle, période qui vit notamment la condamnation de Galilée par l'Église pour ses convictions héliocentriques (mais où le Londres de Newton autorisait plus de libertés dans l'exploration de ces idées que l'Italie de Galilée).

Toutefois, la description de la chute d'un corps dépend beaucoup de la compréhension que les physiciens ont de la façon dont la vitesse horizontale de l'objet évolue au cours de la

chute. Il était déjà possible de la déduire à partir de la loi des aires, énoncée quelques décennies plus tôt par Johannes Kepler dans le cadre du mouvement des planètes (elle stipule que le segment reliant le Soleil à une planète sur sa trajectoire balaie des aires égales en des temps égaux). Mais personne à cette époque n'avait imaginé que ces lois, relatives au mouvement des corps célestes, pouvaient avoir la moindre pertinence pour comprendre la chute des corps sur Terre.

De façon plus générale, la compréhension de la chute des corps demande de disposer de la notion d'inertie, de comprendre le concept de force et de maîtriser la notion de changement de référentiel. Malgré les avancées conceptuelles auxquelles il a contribué, ce n'était pas le cas de Galilée. Par exemple, pour lui, un corps lâché du haut d'une tour et qui serait libre de traverser la Terre décrirait (pour un observateur « fixe ») un grand arc de cercle (voir la figure page ci-contre) qui l'amènerait exactement au centre de la Terre; l'hypothèse était astucieuse à plusieurs égards (elle a notamment pour conséquence que les corps sont uniformément accélérés vers le bas, pour l'observateur terrestre, en accord avec les observations), mais totalement déconnectée de toute notion de dynamique.

Ce n'était pas le cas de Newton non plus en 1679 (des années avant la publication de ses *Principia Mathematica*), qui imaginait plutôt une trajectoire en spirale, résultant de la composition d'un mouvement circulaire uniforme



Lors de sa seconde série d'expériences, en 1804, Johannes Friedrich Benzenberg a utilisé un puits de mine à Schlebusch, en Allemagne, d'une hauteur de 84 mètres (figurée à gauche). Il a aussi perfectionné son dispositif de lâcher des masses (à droite) afin de ne pas communiquer à l'objet une vitesse latérale au moment de son lâcher. En accord avec les calculs de Laplace et Gauss, Benzenberg a trouvé une déviation vers le sud quasi nulle.