

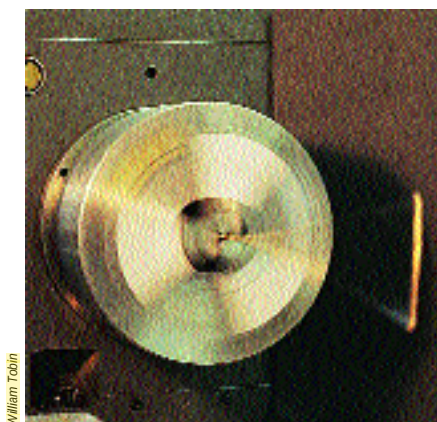
comprise dans le plan d'oscillation, change de direction dans l'espace, les positions successives du plan d'oscillation sont déterminées par la condition de faire entre elles des angles minima : autrement dit, en langue vulgaire, lorsque la verticale sort du plan d'impulsion primitive, le plan d'oscillation la suit en restant aussi parallèle que possible.» Foucault continuait : «Si je ne l'ai pas encore publiée, j'en ai un peu parlé et je me suis aperçu qu'elle n'allait pas à tout le monde.» De fait, dans les mois qui suivirent la démonstration du pendule, des dizaines de physiciens s'affrontèrent pour expliquer le mouvement du pendule de façon géométrique ou analytique. L'analyse est complexe parce que le pendule n'est pas totalement libre d'osciller dans l'espace : excepté aux pôles géographiques, le point d'attache du pendule décrit un cercle, et la direction de la force de gravitation – qui définit la verticale – change lorsque la Terre tourne (comme elle

reste centripète, elle change par rapport aux étoiles). La rotation du plan d'oscillation par rapport à un observateur lié à la Terre résulte de la force de Coriolis, cette même force qui dévie latéralement un enfant qui se déplace radialement dans un manège et, plus généralement, qui s'exerce (perpendiculairement à la vitesse) sur tout corps en mouvement dans un référentiel en rotation.

Pour Foucault, la rotation du plan d'oscillation du pendule indiquait le caractère absolu de l'espace. Quelques décennies plus tard, le physicien morave Ernst Mach contestera cette opinion, soutenant que ce sont les étoiles qui constituent les systèmes de référence non accélérés – c'est-à-dire inertiels – où les accélérations et les rotations sont mesurées. Pour Mach, une planète ne tournerait pas dans un univers qui, en dehors d'elle, serait vide ; sur une telle planète, on ne verrait pas se décaler le plan d'oscillation d'un pendule.

Les idées de Mach eurent une influence considérable sur Albert Einstein, mais la théorie de la relativité générale est moins absolutiste : ses référentiels inertiels ne s'étendent pas indéfiniment à travers l'espace ; ils n'ont qu'une validité locale. Dans ces référentiels, la rotation est absolue. Toutefois, selon la relativité générale, un corps en rotation, tel qu'une planète, entraîne très légèrement l'espace-temps dans sa rotation. Aux pôles de la Terre, cet entraînement de l'espace-temps, nommé effet Lense-Thirring, est égal à un cinquième de seconde d'arc par an environ. Cet effet aurait été décelé tout récemment par une équipe internationale.

Comme le sinus était source de confusion et de mésentente, Foucault chercha un mouvement indépendant de la latitude. Un an plus tard, il mettait au point le dispositif qu'il nommait gyroscope. L'axe de rotation du gyroscope ne change pas, et sa lente dérive par rapport à la Terre est observable à



William Tobin

3. LA ROTATION DE LA TERRE préoccupa Foucault en 1851 et en 1852. L'idée de son pendule lui vint quand il observa une tige en vibration, fixée dans le mandrin d'un tour en rotation (*ci-contre à gauche*). La tige tourne avec le mandrin, mais son plan de vibration reste fixe, car aucune force n'agit pour le déplacer. Âgé de 31 ans, Foucault comprit qu'un pendule se comporterait comme la tige (*voir l'encadré de la page suivante*). Ayant démontré la rotation de la Terre avec son célèbre pendule, il inventa le gyroscope (*ci-contre à droite et ci-dessous au milieu*) : le lent déplacement du rotor pouvait être observé avec un microscope (*ci-dessous à droite*).



Smithsonian Institution



Studio CNAV, Musée des Arts et Métiers



Smithsonian Institution



Astronomie populaire

l'aide d'un microscope. Encore aujourd'hui, les gyroscopes mécaniques et optiques sont essentiels en navigation aérienne et spatiale.

Réflexion contre réfraction

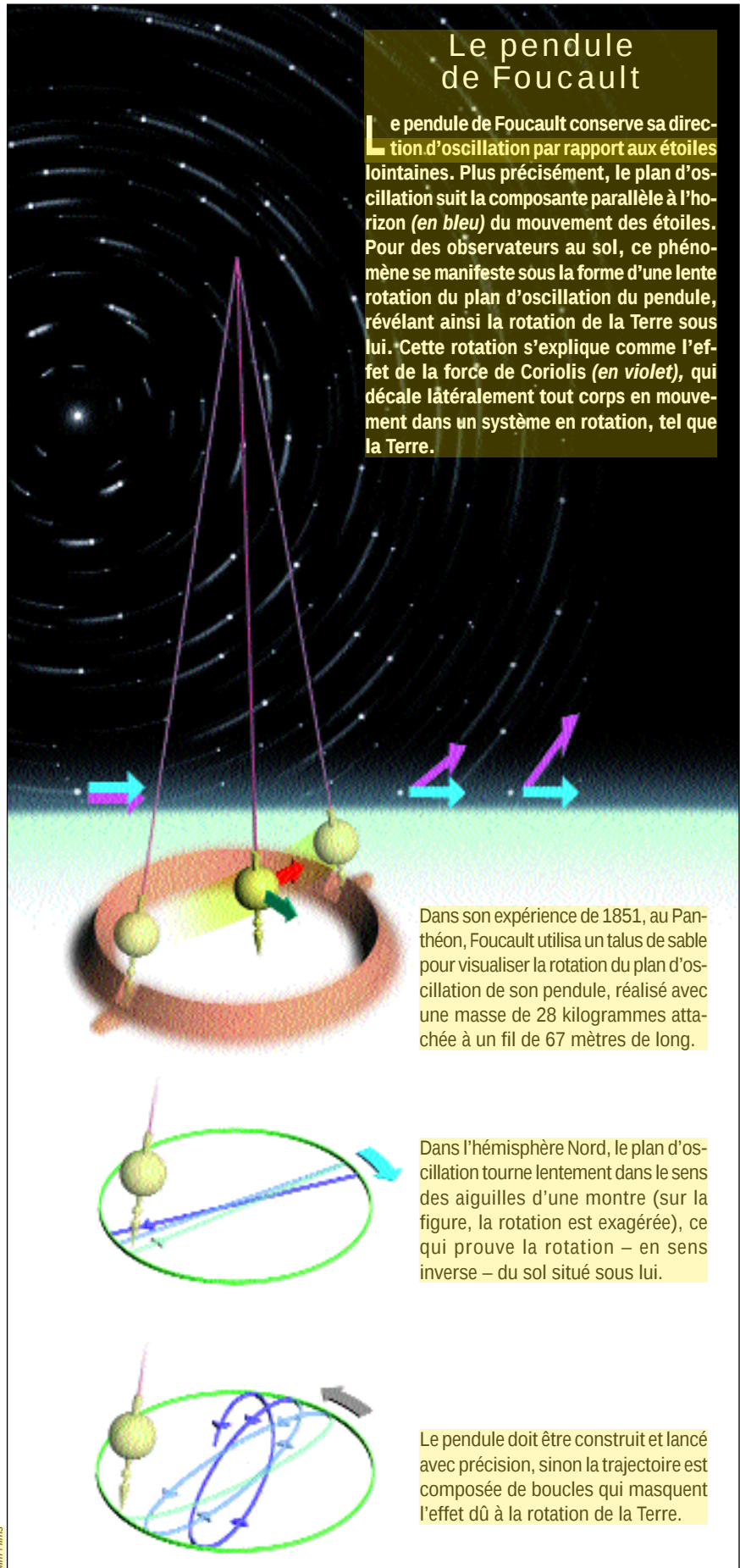
Malgré ses succès, Foucault atteignit l'âge de 35 ans sans avoir de poste officiel. Sa personnalité l'a sans doute desservi. Un de ses contemporains a noté : « Ses airs de Pacha à trois queues ne plaisent pas à tout le monde. » Néanmoins Foucault devint, en 1855, le « physicien » de l'Observatoire de Paris qui, après le décès d'Arago, était dirigé par Urbain Le Verrier, célèbre pour ses prévisions qui avaient conduit à la découverte de la planète Neptune. Le Verrier, qui avait besoin de moderniser les équipements de l'Observatoire, demanda à Foucault de construire une lunette dotée d'une lentille géante de 74 centimètres de diamètre. Foucault conclut rapidement qu'un télescope équipé d'un grand miroir serait mieux approprié.

À la même époque, l'Irlandais William Parsons, troisième comte de Rosse, construisait de tels télescopes, mais ses instruments utilisaient des miroirs métalliques qui étaient lourds, difficiles à façonner et d'entretien pénible, car leur surface se ternissait. On savait depuis Newton que le verre était pour les miroirs un matériau bien plus prometteur, mais comment le rendre suffisamment réfléchissant ? Foucault avait vu que les fabricants de miroirs avaient abandonné les amalgames de mercure toxiques, appliqués sur la face arrière des miroirs ; ils déposaient désormais une couche d'argent par réduction chimique de solutions de nitrate d'argent. Foucault avait même utilisé une telle couche pour son miroir tournant, lors de sa comparaison de la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau. La couche d'argent, très mince, pouvait être appliquée sur la face avant des miroirs du télescope sans en modifier la focalisation. En outre, lorsque l'argent se ternissait, il pouvait être facilement remplacé sans que la qualité optique de la surface de verre ne soit dégradée. Le télescope en verre métallisé était techniquement réalisable.

Foucault fabriqua ainsi des télescopes de 10 et de 22 centimètres de diamètre, qui donnèrent satisfaction, mais les méthodes alors utilisées pour le polissage des surfaces optiques ne

Le pendule de Foucault

Le pendule de Foucault conserve sa direction d'oscillation par rapport aux étoiles lointaines. Plus précisément, le plan d'oscillation suit la composante parallèle à l'horizon (en bleu) du mouvement des étoiles. Pour des observateurs au sol, ce phénomène se manifeste sous la forme d'une lente rotation du plan d'oscillation du pendule, révélant ainsi la rotation de la Terre sous lui. Cette rotation s'explique comme l'effet de la force de Coriolis (en violet), qui décale latéralement tout corps en mouvement dans un système en rotation, tel que la Terre.



convenaient plus pour des diamètres supérieurs. Après avoir échoué cinq fois dans ses tentatives de fabriquer un miroir de 42 centimètres de diamètre, Foucault conçut trois techniques pour le contrôle des surfaces optiques, ce que l'on nomme aujourd'hui le «foucaultage des miroirs». La plus efficace était le test du «tranchant de couteau» : une lame mince élimine partiellement l'image réfléchie d'une source ponctuelle, de sorte que l'on perçoive les défauts de polissage comme des reliefs exagérés, ce qui permet leur élimination.

Le plus grand des télescopes qu'il réalisa comprenait un miroir de 80 centimètres de diamètre. Il fut installé à l'Observatoire de Marseille. La voie des télescopes géants était ouverte.

La mesure de la distance du Soleil

Pour Le Verrier, la découverte de Neptune n'était que le début de l'œuvre de sa vie : l'analyse des mouvements des corps dans le Système solaire. Par des calculs extrêmement fastidieux, Le Verrier affina les estimations des masses des planètes. Il découvrit également que la distance du Soleil était inférieure de trois pour cent à ce que l'on croyait alors. À cette époque, la vitesse de la lumière était évaluée seulement à partir de mesures astronomiques, dont l'une était celle de la distance du Soleil. Aussi Le Verrier estima que la vraie valeur de la vitesse de la lumière dans le vide était inférieure d'environ trois pour cent à la meilleure estimation astronomique de l'époque, qui était de 308 000 kilomètres par seconde.

Le Verrier demanda à Foucault de l'aider à confirmer cette prévision : pouvait-il modifier son expérience de 1850 afin d'obtenir une mesure absolue de la vitesse de la lumière ? Foucault allongea le trajet lumineux à 20 mètres en utilisant un relais de cinq miroirs concaves à face avant argentée. Une roue dentée, entraînée en rotation par un mouvement d'horlogerie, permettait de régler le miroir tournant, par effet stroboscopique, à une vitesse précise de 400 tours par seconde. Ainsi, en 1862, Foucault annonça à l'Académie des sciences que la vitesse de la lumière dans l'air était égale à 298 000 kilomètres par seconde, conformément à la prédiction de Le Verrier (cette valeur est à moins de un pour cent de la valeur moderne).



Les manuels de physique contemporains présentent parfois la mesure de Foucault en indiquant que la méthode était celle qu'adoptait plus tard Albert Michelson aux États-Unis, mais ils montrent mal l'objectif réel de Foucault qui ignorait, comme ses contemporains, que la vitesse de la lumière est une constante physique d'importance primordiale (James Clerk Maxwell ne publia la théorie électromagnétique de la lumière qu'en 1865, et Einstein n'était pas encore né). L'unique question, en 1862, était la distance du Soleil, considérée par Le Verrier comme la question «la plus délicate de l'astronomie moderne».

La mesure de la vitesse de la lumière fut la dernière contribution d'importance de Foucault en phy-

sique. Il consacra le reste de sa vie à des travaux de comité et à des études de régulateurs mécaniques : il cherchait un régulateur de vitesse universel, qui aurait fait sa fortune. Il obtint des systèmes remarquables, supérieurs même à ceux de James Watt, mais les impératifs industriels étaient trop nombreux, et les prototypes qu'il expérimenta étaient dynamiquement instables.

Une vie de chat

Quel était le statut scientifique de Foucault ? Donné écrivait : «Tout le monde ne considérait pas Foucault comme un vrai physicien, [...] et cela, parce qu'il n'avait pas étudié toutes les parties de la science, qu'il aurait peut-