

Ainsi, nous avons examiné comment les sujets au cerveau divisé perçoivent les illusions relatives aux contours. Des travaux plus anciens avaient suggéré que la perception des contours était assurée par l'hémisphère droit. Nos expériences ont réfuté cette hypothèse : les deux hémisphères perçoivent des contours illusoire, mais l'hémisphère droit peut saisir certains groupements qui échappent à l'hémisphère gauche. Si les deux hémisphères d'une personne au cerveau divisé peuvent juger que des rectangles illusoire sont en largeur ou en hauteur quand aucune ligne n'est dessinée autour des disques qui bordent ces rectangles (voir l'encadré page 77), seul l'hémisphère droit perçoit l'illusion lorsque les disques sont limités par une circonférence noire. Cette présentation est appelée version amodale du test.

Or, des souris réussissent ce test dans sa version amodale. Qu'une souris perçoive des groupements, alors que l'hémisphère gauche des humains n'en est pas capable, suggère qu'une capacité a été perdue au cours de l'évolution. L'émergence d'une capacité humaine, tel le langage – ou un mécanisme interprète – a-t-il chassé cette capacité perceptive de l'hémisphère gauche? Nous pensons que oui, et notre interprétation a des consé-

quences sur la conception des origines de la spécialisation latérale.

Nos habiletés spécifiquement humaines pourraient être produites par des réseaux neuronaux minuscules et circonscrits. Pourtant notre cerveau modulaire nous donne le sentiment d'être intégré et unifié. Comment une unité naît-elle de la modularité?

L'hémisphère gauche pourrait être l'unificateur : ne recherche-t-il pas des explications du pourquoi des événements? L'avantage d'une telle adaptation est clair : en allant au-delà de la simple observation des événements et en demandant pourquoi ils se sont produits, le cerveau sera plus à même de faire face à ces événements s'ils se produisent à nouveau.

L'analyse des forces et des faiblesses de chaque hémisphère nous conduits ainsi à nous intéresser à la conscience : après de nombreuses années de recherches passionnantes sur les cerveaux divisés, on découvre que l'hémisphère gauche, inventif et interprète, a une expérience consciente très différente de celle du cerveau droit, véridique et littéral. Bien que les deux hémisphères puissent être considérés comme conscients, la conscience de l'hémisphère gauche surpasse de très loin celle de l'hémisphère droit. Cette différence entre les deux consciences nous donnera du travail pour au moins trois autres décennies!

Michael GAZZANIGA est directeur du Centre de neurosciences cognitives à Dartmouth.

G. GEOFFROY, M. LASSONDE, F. DELISLE et M. DÉCARIE, *Corpus Callosotomy for Control of Intractable Seizures in Children*, in *Neurology*, n° 33, pp. 891-897, 1983.

M. PITTO et F. LEPORE, *Interocular Transfer in Cats with Early Callosal Transection*, in *Nature*, n° 301, pp. 513-515, 1983.

M. HABIB et A.M. GALABURDA, *Déterminants biologiques de la dominance cérébrale*, in *Revue Neurologique*, n° 142, pp. 869-894, 1986.

M. LASSONDE, H. SAUCRWEIN, G. GEOFFROY et M. DÉCARIE, *Effects of Early and Late Transection of the Corpus Callosum in Children*, in *Brain*, vol. 109, pp. 953-967, 1986.

M. HABIB, D. GAYRAUD, A. OLIVA, J. REGIS, G. SALAMON et R. KHALIL, *Effects of Handedness and Sex on the Morphology of the Corpus Callosum : a Study with Brain Magnetic Resonance Imaging*, in *Brain & Cognition*, n° 16, pp. 41-61, 1991.

M. LASSONDE, H.C. SAUCRWEIN, A.J. CHICOINE et G. GEOFFROY, *Absence of Disconnection Syndrome in Callosal Agenesis and Early Callosotomy : Brain Reorganization or Lack of Structural Specificity during Ontogeny?*, in *Neuropsychologia*, vol. 29, n° 6, pp. 481-495, 1991.

M.J. TRAMO, K. BAYNES, R. FENDRICH, G.R. MANGUN, E.A. PHELPS, P.A. REUTER-LORENZ et M.S. GAZZANIGA, *Hemispheric Specialization and Interhemispheric Integration*, in *Epilepsy and the Corpus Callosum*, deuxième édition, Plenum Press, 1995.

M. HABIB, *Bases neurologiques des comportements*. 3^e édition, éditions Masson, 1997.

Steven PINKER, *How the Mind Works*, W.W. Norton, 1997.

Michael S. GAZZANIGA, *The Mind's Past*, University of California Press, 1998.

Richard B. IVRY et Lynn C. ROBERTSON, *The Two Sides of Perception*, MIT Press, 1998.

M. HABIB et F. ROBICHON, *Dominance hémisphérique*, in *Encyclopédie médico-chirurgicale*, à paraître.

Ce magazine vous intéresse !



Vous y trouverez :

- ☐ Sciences-actualités
- ☐ L'actualité en astronomie
- ☐ Les actualités biomédicales
- ☐ Nouvelles de l'environnement
- ☐ Le texte intégral des conférences du samedi
- ☐ Le commentaire des expositions permanentes et temporaires
- ☐ Le programme des activités du Palais de la découverte

Je souscris un abonnement à la

REVUE DU PALAIS DE LA
DÉCOUVERTE

Je joins mon règlement par chèque à l'ordre du

PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
(CCP 9065 48 J PARIS)

Tarif France : 170 F (10 numéros par an)

Tarif étranger : 200 F

par mandat international uniquement

(par avion, supplément de 80 FF)

Abonnement de soutien : 230 F

Nom (M., Mme, Mlle) :

Prénom :

Adresse :

.....

Ville :

Code postal :

Profession :

à retourner avec votre règlement à
Revue du PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
Av. Franklin-D.-Roosevelt - 75008 Paris.
Tél. : 01 40 74 80 00

Léon Foucault

WILLIAM TOBIN

Son expérience du pendule le rendit célèbre en 1851, mais il obtint de nombreux autres résultats : il compara la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau, il inventa le gyroscope et il perfectionna le télescope.

Au milieu du XIX^e siècle, les individus cultivés savaient tous que la Terre tourne sur elle-même, mais une démonstration directe de cette rotation manquait encore. Depuis l'époque de Galilée et d'Isaac Newton, les physiciens savaient que la rotation de la Terre exerçait une influence sur le mouvement des corps à sa surface, de même que la rotation d'un manège modifie le mouvement d'un enfant qui s'y déplace, mais plus de 200 ans s'étaient écoulés sans que l'on obtienne une vérification de cette prévision. Les physiciens avaient lâché des masses du haut de tours ou dans des puits. Ils avaient même songé à tirer des boulets de canon verticalement, dans l'espoir de détecter de légères déviations des trajectoires de ces objets mobiles par rapport à la verticale : l'existence de déviations, même minimes, aurait prouvé la rotation de la Terre, mais les expériences n'étaient alors pas assez précises.

C'est alors qu'en 1851 un jeune physicien français étonna le monde : Léon Foucault montra qu'en oscillant, un simple pendule révèle les effets tenus de la rotation de la Terre. Comme le constatèrent les observateurs de l'expérience présentée au Panthéon, le plan d'oscillation du pendule de Foucault tournait lentement dans le sens des aiguilles d'une montre, démontrant ainsi la rotation – en sens inverse – de la Terre au-dessus de laquelle il était suspendu.

Bien que Foucault soit passé à la postérité pour son pendule, la science lui doit d'autres contributions majeures. Il fournit ce qui fut alors considéré comme une preuve décisive contre la théorie corpusculaire de la lumière, il inventa le gyroscope (qui constitue une preuve supplémentaire de la rotation de la Terre), il perfectionna le téles-

cope, il mesura la distance de la Terre au Soleil... Ses travaux, qui sont un intéressant mélange de science fondamentale et de science appliquée, montrent une minutie et une perspicacité extraordinaires. Pourtant, si certains de ses contemporains le reconnaissaient comme l'un des plus éminents physiciens de son époque, d'autres ne le considéraient que comme un bricoleur doué.

Des mains de virtuose

Jean Bernard Léon Foucault est né en 1819 à Paris, où il vécut toute son existence, excepté quelques années d'enfance à Nantes. Il mourut en 1868. Son père, éditeur-libraire, se fit connaître par les nombreux livres d'Histoire de France qu'il publia. La famille Foucault était aisée (elle possédait plusieurs immeubles), de sorte qu'elle put mettre le jeune Léon dans un bon établissement d'études secondaires : le Collège Stanislas. Foucault, de santé délicate pendant son adolescence, semble avoir été un écolier médiocre, à qui il fallut donner un répétiteur pour préparer son baccalauréat.

Cependant, il était extrêmement habile de ses mains. Adolescent, il occupait ses loisirs à construire des maquettes de bateaux, de télégraphes et de moteurs à vapeur. Comptant sur sa dextérité, il entra à l'École de médecine de Paris en 1839, avec l'idée de devenir chirurgien, mais la vue du sang le retournait, et il renonça vite à la médecine.

Vers cette époque, il se passionna pour le daguerréotype. Dans cette première forme de photographie, les images étaient enregistrées sur des plaques recouvertes d'iodure d'argent, puis révélées à l'aide de vapeur de mercure. Bien que révolutionnaire, ce pro-

cédé imposait des expositions durant parfois une heure. En 1841, Hippolyte Fizeau, un ancien camarade de classe de Foucault, découvrit que le brome sensibilisait les plaques, tandis que Foucault trouvait une technique pour appliquer uniformément la vapeur toxique. Ces améliorations, qui réduisirent considérablement le temps d'exposition, permirent la réalisation de portraits.

Foucault et Fizeau avaient de nombreux points communs : ils avaient le même âge, à cinq jours près, et tous deux renoncèrent à des études médicales pour une carrière de physicien. Leur collaboration commença peu après leurs travaux sur la photographie. En 1844, à la demande de François Arago, secrétaire de l'Académie des sciences et directeur de l'Observatoire de Paris, ils réussirent le premier daguerréotype du Soleil. Le cliché montrait clairement que le disque solaire était plus brillant en son centre qu'à sa périphérie, ce qui confirmait les observations visuelles et réfutait l'hypothèse de l'astronome et physicien hollandais Christian Huygens, selon qui le Soleil était une sphère liquide qui rayonnait uniformément dans toutes les directions.

Foucault explora également des applications médicales du daguerréotype, en collaboration avec Alfred Donné, qui avait été l'un de ses professeurs à la Faculté de médecine. Donné étudiait au microscope le lait et d'autres fluides corporels. L'atlas qu'ils publièrent en 1845 inaugura l'usage du daguerréotype en médecine ; la plupart des 80 microphotographies qui s'y trouvaient avaient été prises par Foucault.

Cette même année, Foucault succéda à Donné pour commenter dans le *Journal des débats* (un journal pari-

sien influent) les réunions du lundi de l'Académie des sciences. Dans ses articles, Donné avait reproché à Arago de transformer l'Académie en un fief personnel. Foucault était plus mesuré, mais ses critiques étaient parfois acerbes. Il alimenta régulièrement les colonnes du journal pendant plus de 15 ans.

Ondes contre corpuscules

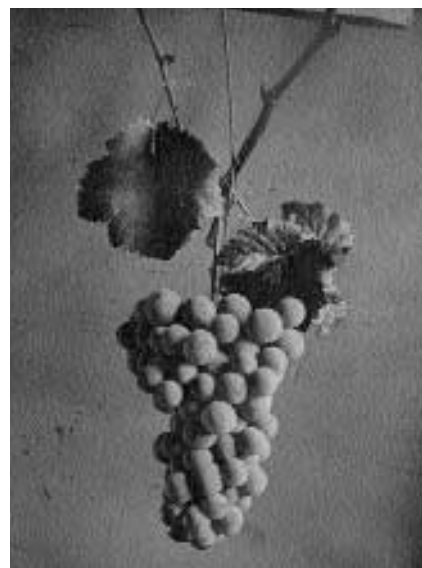
Foucault fit sa première découverte importante en 1850 : ses travaux furent décisifs dans le débat, ouvert depuis longtemps, sur la nature de la lumière. Depuis le tout début des années 1800, la théorie ondulatoire de Robert Hooke et de Huygens (la lumière est une onde) avait progressivement gagné du terrain par rapport à la théorie corpusculaire de René Descartes et de Newton (la lumière est composée de particules). La découverte des inter-

férences et de la polarisation avait corroboré l'hypothèse ondulatoire de la lumière, mais les partisans de la théorie corpusculaire s'arrangeaient toujours pour faire coller leur théorie aux résultats expérimentaux.

Arago imagina alors un test qu'il jugeait irréfutable. Lorsque la lumière passe de l'air dans l'eau, elle est réfractée : elle change de direction à l'interface des deux milieux. Les deux théories expliquaient ce phénomène très différemment. Selon la théorie corpusculaire, lorsque les particules de lumière pénètrent dans un milieu plus dense, elles sont déviées parce qu'elles subissent une force perpendiculaire à l'interface. Les particules de lumière étant ainsi accélérées en pénétrant dans l'eau, elles devaient être plus rapides dans l'eau que dans l'air. La théorie ondulatoire, pour laquelle la continuité du front d'onde est impérative, prédisait que la vitesse dans l'eau serait

inférieure : à l'interface, le bord de l'onde resté dans l'air doit rattraper le bord passé dans l'eau, d'où la vitesse supérieure dans l'air. La nature de la lumière serait ainsi établie sans équivoque – du moins c'est ce qu'on pensait à l'époque – par une comparaison des vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau.

Toutefois, la lumière est si rapide, dans l'air ou dans l'eau, que la mesure de sa vitesse était d'une redoutable difficulté. Arago avait envisagé d'utiliser une source de lumière unique pour éclairer deux chemins parallèles, l'un dans l'air et l'autre dans l'eau ; à l'extrémité des deux chemins, un miroir en rotation rapide réfléchirait les rayons lumineux. Le faisceau le plus lent, arrivant un peu après l'autre, serait réfléchi d'un angle supérieur. Arago fit l'expérience avec un miroir entraîné par un mouvement d'horlogerie jusqu'à une vitesse de



1. LÉON FOUCAULT (1819-1868) se rendit célèbre par sa démonstration de la rotation de la Terre, à l'aide d'un pendule (à gauche, la gravure représente la présentation publique de ce pendule au Panthéon). Toutefois il fit bien plus que cette seule expérience. Au début de sa carrière, par exemple, il perfectionna la technique de réalisation des

daguerréotypes : en collaboration avec Hippolyte Fizeau (1819-1896), il parvint à raccourcir le temps d'exposition, qui était auparavant de plusieurs heures (en haut à droite, une des images attribuées à Foucault). Foucault était un remarquable expérimentateur : même la masse du pendule était ingénieusement construite.

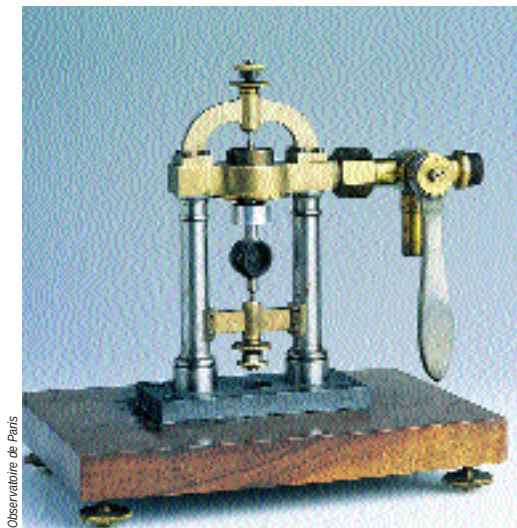
rotation de 2 000 tours par seconde, mais il identifiait difficilement les réflexions. Peu après, le diabète dont il souffrait réduisit son acuité visuelle au point qu'il dut interrompre ses expériences.

Foucault et Fizeau reprirent alors l'idée et comprirent que les réflexions deviendraient stationnaires, et donc observables, si des miroirs concaves renvoyaient les faisceaux lumineux vers le miroir tournant et, de là, vers un oculaire fixe (voir la figure ci-contre). Toutefois, alors qu'ils concevaient l'expérience, ils se brouillèrent, malgré leur collaboration de presque dix années. Se disputèrent-ils à propos de l'entraînement du miroir tournant ? C'est une hypothèse qu'on a parfois avancée, mais le caractère de Foucault n'a sans doute rien arrangé. Selon Donné, «Foucault n'était pas ce qu'on appelle aimable ; il n'avait ni la souplesse de caractère ni les complaisances nécessaires pour être un homme aimable dans le monde.»

Foucault et Fizeau travaillèrent alors séparément, rivalisant pour être le premier à obtenir un résultat à partir de l'idée d'Arago. Fizeau poursuivit ses expériences avec le miroir à mouvement d'horlogerie, tandis que Foucault utilisa une petite turbine à vapeur pour entraîner son miroir dans une rotation de 800 tours par seconde.

Foucault coiffa Fizeau au poteau pour la détermination des vitesses relatives dans l'eau et dans l'air. Le 30 avril 1850, il annonça que «la lumière emploie plus de temps à parcourir le même chemin dans l'eau que dans l'air». Sept semaines plus tard, Fizeau confirma le résultat. La théorie corpusculaire semblait abattue. Cette expérience de Foucault, qui déclencha un enthousiasme général, lui valut la Légion d'honneur. Toutefois, cette détermination était purement comparative, et Foucault ne donna pas de valeur de la vitesse avant 1862, nous le verrons plus loin.

Les physiciens comprirent bien plus tard que l'expérience de Foucault n'était pas aussi décisive qu'elle l'avait semblé initialement : la lumière n'est ni une onde ni une particule, mais peut présenter, selon les circonstances, des propriétés corpusculaires ou ondulatoires. Il faudra l'avènement de la mécanique quantique pour décrire correctement des phénomènes tels que l'effet photoélectrique, le rayonnement du corps noir et l'effet laser.



Observatoire de Paris

2. LE MIROIR TOURNANT fut un appareil capital pour Foucault. Il en utilisa un pour comparer la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau (voir la figure ci-dessous) et aussi, en 1862, pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et la distance du Soleil. L'appareil utilisé pour ces derniers travaux est celui qui apparaît sur la photographie ci-contre. Foucault renonça à utiliser un système à vapeur pour faire tourner le miroir ; il reprit à son voisin, le facteur d'orgues Aristide Cavaillé-Coll, un système à air comprimé. La turbine de cet appareil est aujourd'hui à l'Observatoire de Paris. L'axe du miroir reste remarquablement équilibré : il tourne aussi régulièrement qu'à l'époque de sa construction.

La lumière dans l'air et dans l'eau

En 1850, Léon Foucault montra que la lumière était plus rapide dans l'air que dans l'eau, ce qui semblait contredire la théorie corpusculaire de la lumière. Ce schéma n'est pas à l'échelle ; en fait, le tube plein d'eau avait une longueur de trois mètres, le diamètre du miroir tournant était de 14 millimètres, et l'ouverture était de deux millimètres de côté. L'expérience prit à Foucault plus de temps que prévu : seule la lumière du Soleil était suffisamment intense pour être encore visible après son passage à travers l'eau, et Foucault fut contrarié dans ses projets par le temps presque continuellement couvert qu'il fit pendant le triste printemps parisien de cette année-là.

2 Un miroir, dont la rotation rapide est commandée par une turbine à vapeur, réfléchit la lumière vers deux trajets d'égale longueur, l'un dans l'air (ci-dessus) et l'autre dans l'eau (à droite). Des miroirs concaves et métallisés placés à l'extrémité de ces deux trajets renvoient les deux faisceaux lumineux vers le miroir tournant. Le faisceau qui a suivi le trajet dans l'eau est maintenant vert et plus faible, en raison de l'absorption par l'eau.

3 Les deux faisceaux lumineux renvoyés par le miroir tournant reprennent en sens inverse leur trajet initial. Arrivés la plaque de verre, les faisceaux sont réfléchis vers un oculaire d'observation.

Sifm Films

Un tour inspirateur

L'expérience suivante de Foucault, celle du pendule, le rendit célèbre. L'idée lui en vint alors qu'il faisait vibrer une tige d'acier serrée dans le mandrin d'un tour. Il remarqua que, malgré la rotation de la tige en même temps que le mandrin, le plan de vibration ne tournait pas. Cet effet, qui surprend même aujourd'hui (voir la photographie supérieure de la figure 3), est dû à l'inertie, qui maintient les objets dans le même état de mouvement tant qu'aucune force n'agit sur eux. Foucault comprit qu'un pendule oscillant sur la Terre se comporterait comme la tige sur le mandrin : il pré-

dit que la rotation de la Terre se manifesterait à des observateurs terrestres sous la forme d'une lente rotation du plan d'oscillation du pendule.

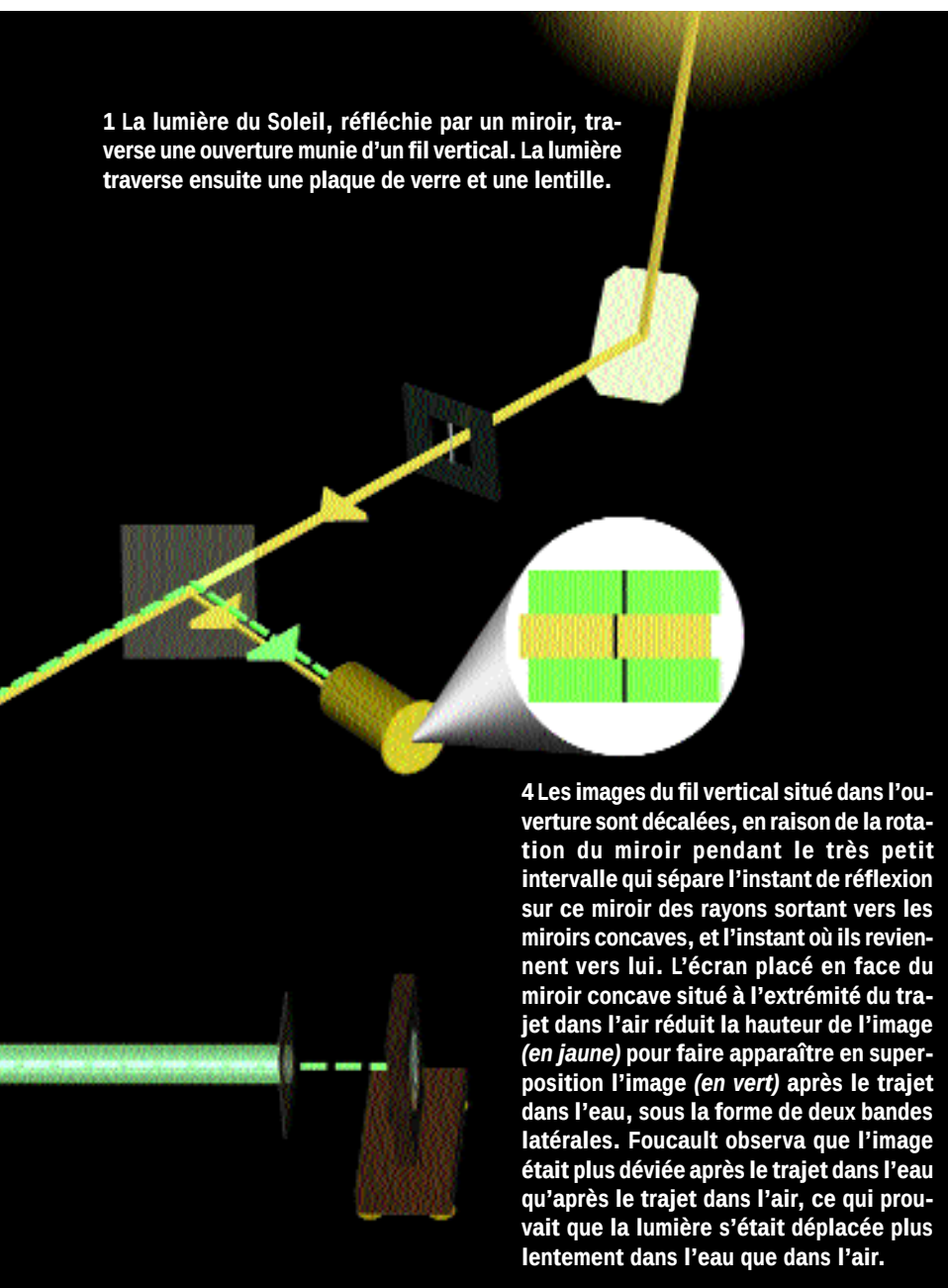
Travaillant dans la cave de la maison qu'il partageait avec sa mère, rue d'Assas (cette maison a été détruite dans les années 1890, et l'immeuble qui l'a remplacée, 28, rue d'Assas, porte, gravé dans la pierre, une inscription et un pendule), Foucault construisit son premier pendule, en suspendant une masse en laiton de cinq kilogrammes à un fil de deux mètres de long. Au cours de la première tentative, le 3 janvier 1851, le fil se rompit. Cinq jours plus tard, Foucault observait que le plan d'oscilla-

tion de son pendule tournait par rapport au sol.

À l'invitation d'Arago, Foucault installa à l'Observatoire de Paris un pendule de 11 mètres de long. En annonçant sa découverte à l'Académie des sciences, quelques jours plus tard, Foucault prédit que le plan d'oscillation du pendule tournerait de 360 degrés par jour aux pôles géographiques de la Terre et que, partout ailleurs, cette vitesse de rotation serait réduite d'un facteur égal au sinus de la latitude du site considéré ; aucune rotation n'aurait lieu dans le plan de l'équateur. À propos du sinus, Foucault avait écrit : «Il faut recourir soit à l'analyse, soit à des considérations mécaniques et géométriques que ne comporte pas l'étendue restreinte de cette Note.» Nous verrons plus loin que sa prudence était justifiée.

Avec l'appui du président de la République, Louis-Napoléon Bonaparte (qui devint plus tard l'empereur Napoléon III), Foucault réalisa un pendule encore plus grand, pour une spectaculaire démonstration publique : au printemps 1851, les Parisiens affluèrent pour observer une masse de 28 kilogrammes oscillant à l'extrémité d'un fil de 67 mètres, sous le vaste dôme du Panthéon. L'oscillation du plan d'oscillation du pendule était marquée par une pointe fixée sous la masse, qui traçait un sillon dans du sable humide, aux extrémités de la course du pendule. La résistance de l'air amortissait progressivement l'oscillation, de sorte que le pendule devait être relancé toutes les cinq à six heures, mais, pendant les quelques heures d'oscillation, le plan d'oscillation avait tourné de 60 à 70 degrés dans le sens des aiguilles d'une montre, conformément aux prévisions. L'expérience fut bientôt reprise partout dans le monde. À Rio de Janeiro, de l'autre côté de l'équateur, le plan d'oscillation tourna, comme prévu, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Foucault avait eu raison de ne pas justifier publiquement la présence d'un sinus dans l'expression de la vitesse de rotation du pendule : contrairement au plan de vibration d'une tige dans un tour, le plan d'oscillation du pendule se modifie au cours de la rotation de la Terre ; si la direction de l'oscillation reste fixe, la verticale tourne avec la Terre. Pour expliquer le sinus, Foucault admettait le «postulat effronté» suivant : «Quand la verticale, toujours



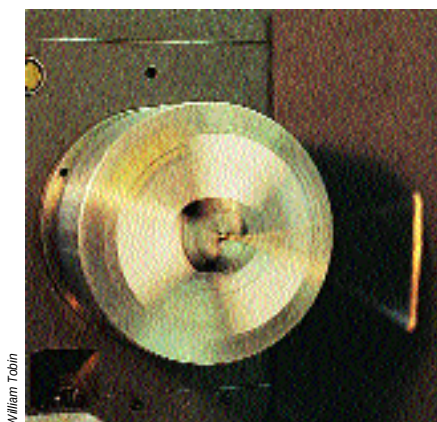
comprise dans le plan d'oscillation, change de direction dans l'espace, les positions successives du plan d'oscillation sont déterminées par la condition de faire entre elles des angles minima : autrement dit, en langue vulgaire, lorsque la verticale sort du plan d'impulsion primitive, le plan d'oscillation 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

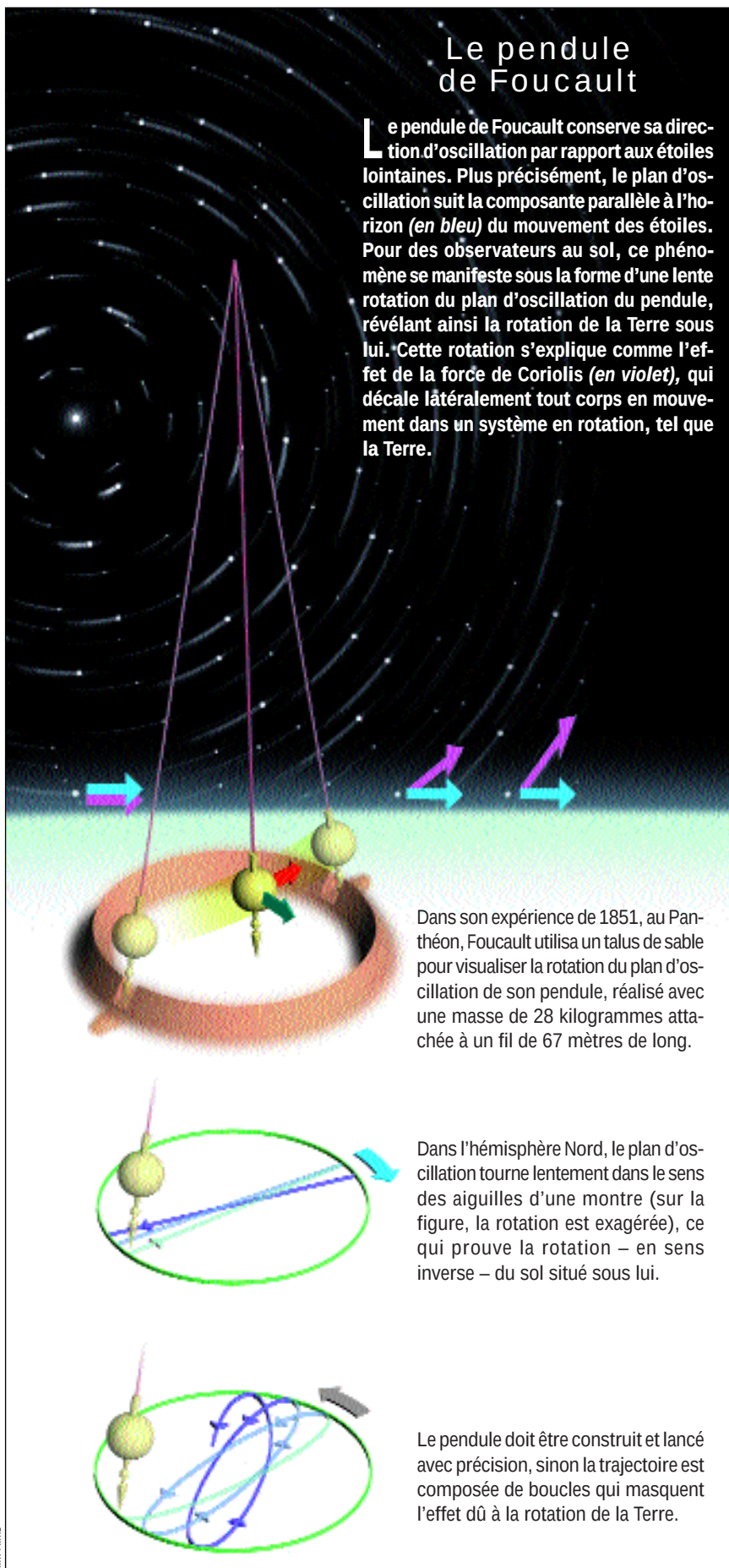
Malgré ses succès, Foucault atteignit l'âge de 35 ans sans avoir de poste officiel. Sa personnalité l'a sans doute desservi. Un de ses contemporains a noté : «Ses airs de Pacha à trois queues ne plaisent pas à tout le monde.» Néanmoins Foucault devint, en 1855, le «physicien» de l'Observatoire de Paris 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).



William Tabin

Les manuels de physique contemporains présentent parfois la mesure de Foucault en indiquant que la méthode était celle qu'adopta 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-



4. CE TÉLESCOPE ÉQUIPÉ D'UN MIROIR DE 20 centimètres de diamètre (à gauche) fut réalisé par Foucault, qui appliqua une mince couche d'argent sur la face avant d'un bloc de verre poli, concave. Il mit au point des techniques pour fabriquer des miroirs bien plus grands, ouvrant ainsi la voie aux télescopes à réflexion géants. Le plus grand des télescopes de Foucault (ci-dessus), qui possède un miroir en verre argenté de 80 centimètres de diamètre, fut réalisé à Paris au début de 1862. Il fut ensuite installé à l'Observatoire de Marseille, où il fut utilisé pendant une centaine d'années. Ce télescope fait aujourd'hui partie du patrimoine historique français.

être été incapable de faire un cours complet de physique élémentaire. [...] Pour beaucoup, c'était un amateur. Lui-même, au reste, se donnait ce titre et s'en glorifiait. "Nous sommes des amateurs [...], mais dans le bon sens ; [...] nous cultivons les points de la science vers lesquels nous porte notre instinct".»

La force de Foucault résidait dans sa précision expérimentale : même aujourd'hui, la mise en place d'un pendule de Foucault n'est pas aisée. Pour un pendule tel que celui du Panthéon, la fréquence de rotation du plan d'oscillation est environ 10 000 fois inférieure à celle de l'oscillation. En fait, le mouvement du plan d'oscillation de bien des prétendus pendules de Foucault ne résulte pas du mouvement de rotation de la Terre, mais des imprécisions de construction et d'expérimentation, qui engendrent une trajectoire composée de boucles.

La Société royale de Londres, qui accorda à Foucault sa distinction la plus prestigieuse, la médaille Copley, en 1855, n'est qu'une des nombreuses sociétés savantes qui reconnurent ses mérites. En France, en revanche, l'expérimentateur n'eut pas droit aux honneurs qu'il méritait : la tradition scientifique française prise plus l'analytique et le formel que l'expérimental et l'intuitif. Or, Foucault avait des connaissances mathématiques limitées.

Sa thèse de doctorat relative aux expériences dans l'air et dans l'eau menées en 1850 contenait des erreurs de calcul qu'il avait été incapable de corriger pendant la soutenance.

Enfin Foucault n'était pas passé par les Grandes Écoles qui formaient l'élite scientifique. C'est peut-être pour ces raisons, et aussi à cause des articles dans le *Journal des débats*, qu'il ne fut élu à l'Académie des sciences qu'en 1865, à la sixième tentative, alors que sa renommée internationale était établie depuis longtemps.

Deux ans plus tard, en juillet 1867, Foucault commença à ressentir des

symptômes de paralysie. Il mourut en moins de sept mois, à l'âge de 48 ans, moins de surmenage et de soucis, comme on le supposa à l'époque, que de ce qui devait être une sclérose en plaques foudroyante.

Dans la notice nécrologique qu'il rédigea, Donné fit découvrir quelques-unes des nombreuses facettes de Foucault : «Lorsque je l'eus introduit dans l'intimité de ma famille, on le trouva souvent désagréable, agaçant, surtout parce qu'il ne se fâchait pas, mais qu'il soutenait son dire du même ton froid et calme. Ce calme était une grande force dans certaines occasions, et je l'ai vu, lui, d'une apparence faible et chétive, faire reculer les plus redoutables adversaires. [...] et sans avoir moins de complaisance à expliquer aux ignorants, et surtout aux ignorantes, les lois les plus abstraites de la physique.»

Foucault ne se maria jamais. Comme l'écrivait Donné : «Il menait, pour ainsi dire, la vie de ces chats de bonne maison qui s'établissent à la meilleure place de la chambre ou du salon... Quand il venait une visite qui ne lui convenait pas, il se retirait dans un coin, avec son carnet et son crayon qui ne l'abandonnait pas.» Donné ajoute : «S'il n'était pas souple, sa fidélité en amitié était à toute épreuve.» De fait, de très nombreuses personnes se réunirent lors de l'enterrement de Foucault.

Son nom fut ultérieurement coulé dans la charpente métallique de la Tour Eiffel. Il n'était pas un génie de l'envergure de Newton ou d'Einstein, mais c'est à bon droit qu'est entré dans la postérité ce fils remarquable de la Ville lumière.

William TOBIN enseigne l'astronomie et la physique à l'Université de Canterbury, en Nouvelle-Zélande. Il prépare une biographie de Foucault.

C.M. GARIEL, *Recueil des travaux scientifiques de Léon Foucault*, éditions Gauthier-Villars, 1878.

William TOBIN, *Foucault's Invention of the Silvered-Glass Reflecting Telescope and the History of His 80-cm Reflector at the Observatoire de Marseille*, in *Vistas in Astronomy*, vol. 30, n° 2, pp. 153-184, 1987.

William TOBIN, *Perfecting the Modern Reflector*, in *Sky & Telescope*, vol. 74, n° 4, pp. 358-359, octobre 1987.

Janet E. BUEGER, *French Daguerreotypes*, University of Chicago Press, 1989.

Le pendule de Foucault au Musée des Arts et Métiers, CNAM, 1990.

William TOBIN, *Tothed Wheels and Rotating Mirrors: Parisian Astronomy and Mid-Nineteenth Century Experimental Measurements of the Speed of Light*, in *Vistas in Astronomy*, vol. 36, n° 3, pp. 253-294, 1993.

W. TOBIN et B. PIPPARD, *Foucault, His Pendulum and the Rotation of the Earth*, in *Interdisciplinary Science Reviews*, vol. 19, n° 4, pp. 326-337, 1994.

Stéphane DELIGEORGES, *Foucault et ses pendules*, Éditions Carré, 1995.

William TOBIN, *Foucault, son pendule et la rotation de la Terre*, in *L'astronomie*, vol. 110, pp. 50-62, février 1996.

