



À la *mesure* du Ciel

Ce feuilletton est consacré à l'une des disciplines sans doute les plus méconnues sinon les plus austères de l'astronomie : l'astrométrie ou la mesure de la position des astres dans le ciel. Elle est aussi l'une des premières activités des astronomes de l'Antiquité. Elle est au fondement de l'astronomie. Sans elle et sans le gain en précision associé à cette branche, acquis au fil du temps jusqu'à nos jours, l'astronomie n'aurait pu se développer. Il était donc urgent de revenir aux racines de l'astronomie.

— par Pascal Descamps

DIVISER POUR MIEUX MESURER

L'entrée des artistes

LE XVIII^e SIÈCLE marque la spécialisation et la différenciation des disciplines : l'astronome ne fabrique plus ses propres instruments, mais se fait de plus en plus aider puis devient commanditaire auprès de véritables professionnels que l'on désigne sous le nom d'*artistes*. Leurs réalisations sont des chefs-d'œuvre de précision et de minutie : les limbes de cuivre, divisés avec finesse, sont équipés d'un arsenal complet de mesure de précision : micromètres, microscopes, verniers. La division des cercles gradués exige la division du travail.

La pression constante, tout au long du XVIII^e siècle, entre les exigences des astronomes et les méthodes de production est le facteur déterminant de la transformation de cette industrie hautement spécialisée qui, à la fin du XVII^e siècle, n'en est encore qu'aux méthodes artisanales traditionnelles. Cette pression affecte à la fois la recherche de la qualité et la nécessité d'augmenter la production. La production de grands instruments astronomiques est complètement transformée en l'espace d'un demi-siècle, grâce à quelques constructeurs anglais particulièrement talentueux : Abraham Sharp (1653-1742), George Graham (1674-1751), John Bird (1709-1776), Abraham Sisson (1690-1747) et Jesse Ramsden (1735-1800). Leur travail recouvre le siècle.

L'instrument phare du XVIII^e siècle est le grand quart-de-cercle mural placé dans le plan du méridien. Les ateliers anglais résolvent un grand nombre de problèmes de construction pour éliminer tous les défauts des grands instruments : tourillons et dispositifs de rotation, forme de l'alidade, contre-poids, suspension, etc. Mais le problème qui occupe le plus longtemps les esprits et les talents est celui de la division des limbes gradués. Il faut résoudre deux difficultés : la division géométrique des portions de cercle et la gravure des lignes de division. Pendant longtemps, des procédures empiriques ont été utilisées. Graham et Bird inventent des procédés géométriques plus précis. La gravure de la ligne est améliorée par l'utilisation de métaux mieux trempés au marteau pour leur fabrication. Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, le laiton laminé donne encore de meilleurs résultats. Les techniques de fabrication d'instruments de mesure angulaire ouvrent la voie à l'ère des machines.

Tous ces artistes ont pignon sur rue et se mettent ainsi au service des plus grands astronomes du siècle qui, de leur côté, s'attachent à traquer la moindre erreur systématique qui vient entacher les mesures angulaires, et à développer des méthodes très rigoureuses de vérification du placement de l'instrument dans le plan vertical du méridien. Munis de ces instruments de plus en plus précis, ils font reculer les limites des connaissances dans le domaine de l'astronomie de position. Fournisseurs de l'Observatoire de Greenwich et de son astronome royal (voir table I), ils irriguent peu à

peu l'Europe entière de leurs instruments grâce au niveau d'excellence atteint.

À la faveur de ces efforts conjugués, la précision des mesures de position passe en un siècle de 10''

à moins de 1' (fig. 1), soit un gain d'un ordre de grandeur. Pour autant, cela n'est pas encore suffisant pour relever le grand défi posé aux astronomes depuis 2000 ans : mesurer la parallaxe d'une étoile, autrement dit sa distance. Ce sera le grand accomplissement du siècle suivant.

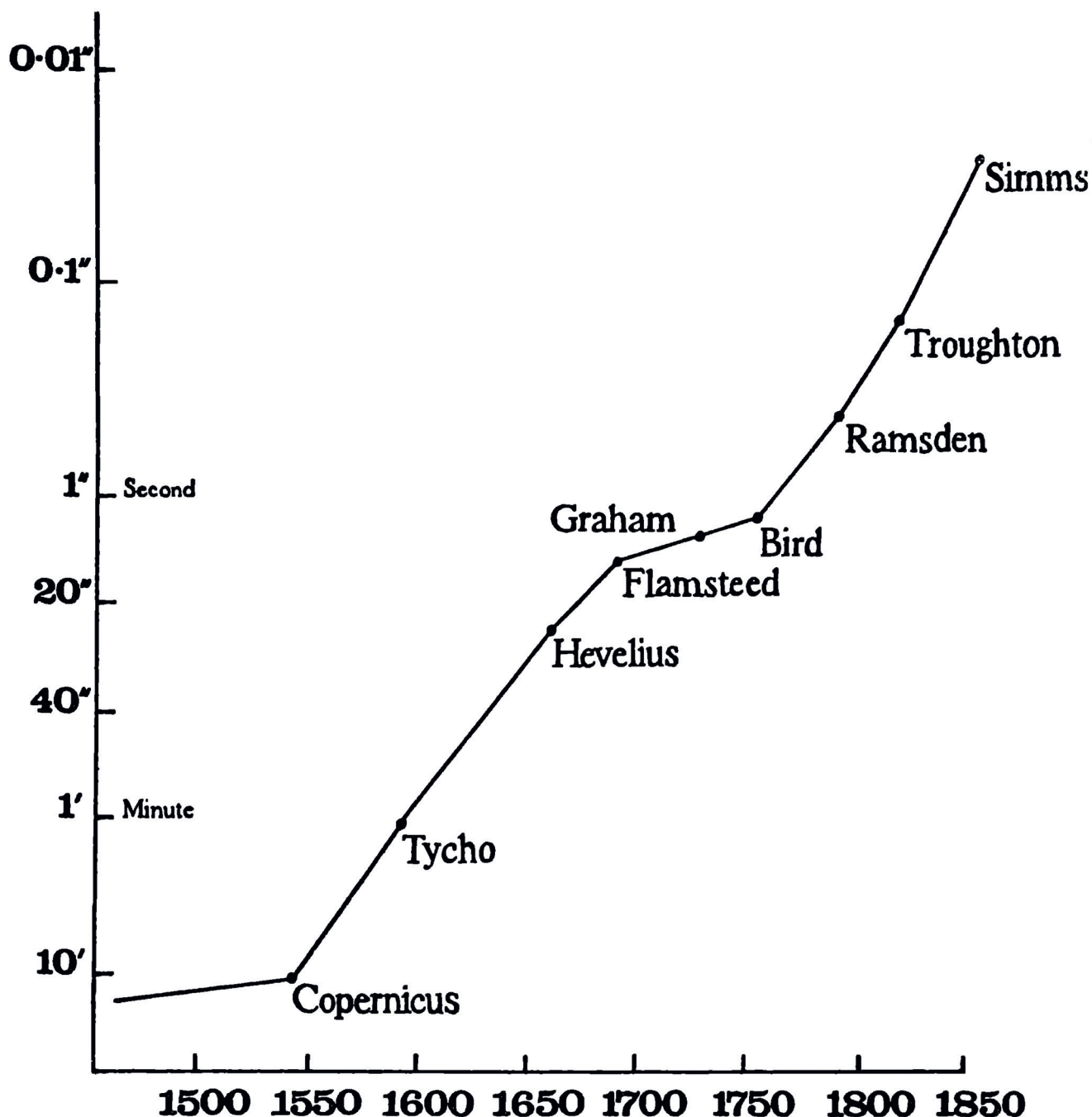


Fig. 1 - Évolution de la précision des mesures angulaires sur cercle gradué entre 1550 et 1850.

Tiré de Chapman, 1983

Abraham Sharp

QUAND JOHN FLAMSTEED (1646-1719), le premier détenteur du titre d'astronome royal, entre à l'observatoire de Greenwich et se met au travail le 29 octobre 1676, les instruments mis à sa disposition ne conviennent pas à la tâche qu'il s'est proposé de mener à bien. Très rapidement il en vient à l'idée de s'équiper d'un quadrant mural placé dans le plan du méridien, seul moyen fiable de déterminer avec certitude la latitude de l'observatoire, la position de l'équinoxe (du point vernal) parmi les étoiles, ainsi que d'autres points essentiels pour démarrer des travaux d'astronomie de position. Le projet est lancé en 1681, mais le nouvel instrument n'est finalement placé dans le plan du méridien qu'en 1683. C'est un grand instrument de 7 pieds de rayon avec un arc de 140° lui permettant

d'observer le passage par le méridien de toutes les étoiles du pôle Nord jusqu'à l'horizon sud. L'instrument jure par son inutilité tant il a été mal construit par le fait d'un « piètre artiste qui ne respectait rien d'autre que l'obtention du salaire de son travail ». En 1688, son père décède et Flamsteed en est le seul héritier. Aussitôt, il décide de prendre à sa charge la construction d'un nouveau quadrant similaire en tout point en recrutant comme assistant un artiste qui commence à faire parler de lui, Abraham Sharp (1653-1742). On disait de Sharp qu'il avait « l'esprit clair pour concevoir et une main habile pour l'exécution ». L'instrument est en place en octobre 1689. Le limbe est divisé de façon « si exquise » toutes les 5' et subdivisé au moyen de diagonales jusqu'à une précision de lecture de 5". C'est le début d'un partenariat dans le domaine de l'astronomie à Greenwich entre les fabricants d'instruments et les astronomes royaux, résumé dans le tableau I.

Astronome royal	Instrument	Constructeur	Observations notables
John Flamsteed (1676-1719)	Quadrant mural - 1683 Arc mural de 6,6 pieds - 1689	Abraham Sharp	Obliquité de l'écliptique, catalogue de l' <i>Historia Coelestis Britannica</i>
Edmund Halley (1720-1742)	Instrument des passages de 5,5 pieds de focale 1721 Quadrant mural de 8 pieds 1725	Robert Hooke George Graham	Étoiles zodiacales Lune pour détermination de la longitude
James Bradley (1742-1762)	Réparation Instrument des passages de 1721 Modification du quadrant de 1725 Secteur zénithal de 12 pieds 1727 Quadrant mural de 8 pieds 1750 Instrument des passages de 8 pieds de focale 1750	Jonathan Sisson George Graham George Graham John Bird John Bird	Latitude et équinoxes Réfraction Aberration et nutation
Nathaniel Bliss (1762-1764)	–	–	Poursuite du travail de Bradley
Nevil Maskelyne (1765-1810)	Initialisation du travail sur un nouveau cercle mural	–	Étoiles fondamentales Positions du Soleil, de la Lune et des planètes <i>Nautical Almanac</i> à partir de 1767
John Pond (1811-1835)	Cercle mural 1812 Instrument des passages de 10 pieds de focale 1816	Edward Troughton Edward Troughton	

Tableau I – Astronomes royaux de l'observatoire de Greenwich entre 1676 et 1835.
Instruments, constructeurs et travaux réalisés.

Des 30 000 positions d'étoiles observées par Flamsteed, 20 000 l'ont été avec son sextant entre 1676 et 1689 et 10 000 jusqu'en 1703 avec le cadran mural pour son catalogue *Historia Coelestis Britannica* paru en 1707. La précision du catalogue se range entre 10" et 12", elles attestent de tout le soin donné par Sharp à la construction et à la division de ses instruments. Flamsteed dira de toutes ses réalisations que « c'était une source d'admiration pour tout artisan expérimenté qui les ont contemplées ». Sharp se retire à Horston en 1694 où il continue à construire sextants et quadrants de très haute précision.

George Graham, l'artisan des plus grandes découvertes de l'astronomie de position du XVIII^e siècle

A PRÈS SA MORT EN 1742, les proches de Flamsteed ont « nettoyé » les lieux avec une telle efficacité qu'à son entrée en 1720, Halley, son successeur en tant qu'astronome royal, n'y trouve plus rien... Il fait alors appel à un artiste talentueux, élu la même année à la *Royal Society*, George Graham (1673-1751). Il tient essentiellement sa réputation de ses travaux dans l'horlogerie. La mise au point d'horloges sidérales, dont la marche est réglée sur l'observation d'étoiles, l'amène peu à peu à s'intéresser à la construction d'instruments de mesure pour l'astronomie. Ses horloges sidérales rendront de grands services à Halley. À cette époque, les horloges ne sont absolument pas fiables, non compensées en température, avec des irrégularités dans le battement des pendules. Il n'est pas rare qu'elles s'arrêtent en pleine observation.

En 1721, Halley lui commande une lunette méridienne de 5,5 pieds (1,67 m) de foyer et de 2 pouces

d'ouverture (5 cm). Cependant, celle-ci ne donne qu'une seule des deux coordonnées – la déclinaison – dont Halley avait besoin pour corriger les coefficients des différentes équations lunaires. Graham conçoit alors en 1725 son premier instrument d'envergure, un quadrant mural de 8 pieds (2,43 m) dont il supervise la construction laissée à Jonathan Sisson (1690-1747). Ainsi, une seule observation permet d'avoir les deux coordonnées de l'objet visé (Lune, planètes, étoiles zodiacales) lors de son passage par le méridien, l'ascension droite – au moyen de l'horloge sidérale – et la déclinaison – par la lecture de hauteur méridienne. D'emblée, Graham marque les esprits avec son quadrant mural en imaginant un limbe portant deux systèmes indépendants de graduation utilisés en guise de vérification de la mesure pour chaque observation. Le limbe intérieur est divisé toutes les 5', puis sous-divisé toutes les 30" au moyen d'un vernier, qui de nouveau par une estimation d'un quart, toutes les 7,5". Le limbe extérieur est composé de 96 parties égales dont chacune est divisée en 16 parties, chacune subdivisée par un vernier toutes les 13". La division en 96 parties est particulièrement astucieuse, car elle rend possible une bisection continue du limbe. C'en est définitivement fini des diagonales du siècle précédent dont Sharp fut l'un des derniers utilisateurs.

Ce nouveau quart-de-cercle mural sert à Halley pour l'observation de la Lune, des planètes et des étoiles zodiacales. Avec ces deux instruments, il ne manque aucun transit de la Lune, de jour comme de nuit, avec l'accord de la météo cependant, sur une période de plus de 16 ans ! Il a déjà découvert l'accélération séculaire de la Lune en 1695 et entend poursuivre l'observation suivie et précise de l'astre.

Cependant, Graham marquera l'histoire et sa renommée par deux autres instruments qui éclipsent presque totalement le grand quadrant mural : il s'agit de deux secteurs zénithaux. L'un construit pour Samuel Molyneux (1689-1728) et l'autre

pour James Bradley (1692-1762). Par construction, ces instruments n'observent que les étoiles proches du zénith. Leur avantage repose sur la longueur du rayon de l'arc et sur la longueur focale de la lunette qui y est attachée. Ils mèneront à la découverte de deux mouvements stellaires apparents, ceux dus à la nutation et à l'aberration de la lumière.

En 1725, Samuel Molyneux conçoit l'idée d'un instrument qu'il pense être capable de mettre en évidence le mouvement de parallaxe annuelle des étoiles et donc le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil. Si le système héliocentrique de Copernic n'est alors plus contesté, aucune preuve observationnelle n'a toutefois encore été apportée en sa faveur. En observant une même étoile tout au long de l'année, en vertu du déplacement de la Terre sur son orbite, la position apparente de l'étoile doit elle-même se déplacer pour décrire une petite ellipse, reflet de l'orbite de la Terre vue depuis l'étoile.

Graham construit pour Molyneux un secteur zénithal de 24 pieds (731 cm), traversant planchers et plafonds de sa maison à Kew. L'étoile choisie par Molyneux est gamma du dragon (γ Draconis), située très près du zénith de Kew et ainsi non soumise à la réfraction. Molyneux l'observe les 3, 5, 11 et 12 décembre 1725, puis de nouveau, par curiosité et non intentionnellement, Bradley la pointe le 17 décembre. Et là, surprise, elle transite plus au sud et dans une direction opposée à celle supposément engendrée par la parallaxe. Ce déplacement vers le sud se confirme et atteint un maximum de 20" en mars 1726 pour ensuite reprendre le chemin du nord.

Bradley ne sait expliquer ce comportement *aberrant*. Les autres étoiles proches du zénith ont-elles aussi un déplacement aussi aberrant se demandait-il ? Il commande en conséquence à Graham un nouveau secteur zénithal (fig. 2) plus polyvalent de 12,5 pieds (381 cm) en 1727, pourvu d'un arc

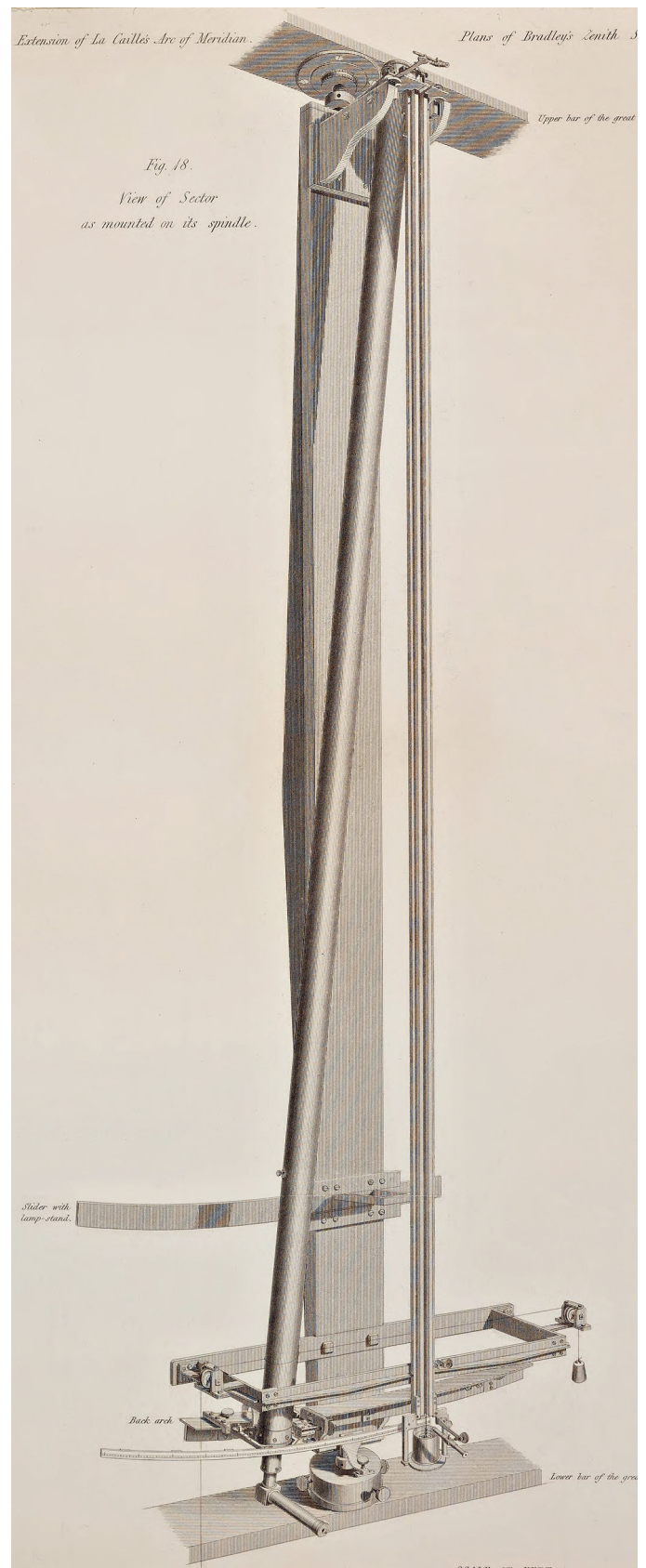


Fig. 2 – Secteur zénithal de Bradley de 12,5 pieds construit par Graham.

Tiré de T. Maclear, *Operations for the verification and extension of the Abbé de La Caille's arc of meridian, at the Cape of Good Hope*, Londres, 1838.

Domaine public

de $12^{\circ}30'$ qui lui permet d'aller chercher d'autres étoiles autour du zénith, près de 200 sont ainsi accessibles à l'observation incluant Capella, l'étoile brillante de la constellation du Cocher. En 1728, il lui est devenu incontestable que chacune des étoiles observées trace une trajectoire apparente similaire à celle de γ Draconis. Le phénomène étant annuel, il fait la connexion avec le mouvement de la Terre dans l'espace conjugué au « mouvement successif » de la lumière, c'est-à-dire au fait que la lumière qui provient de l'étoile met un certain temps pour parvenir à l'œil de l'observateur rivé à l'oculaire de son télescope, temps pendant lequel l'observateur s'est déplacé avec la Terre à travers l'espace, de sorte que la position observée de l'étoile n'est qu'apparente. Une étoile nous semble se situer dans la direction d'où nous arrive sa lumière, mais cette direction change constamment, bien que légèrement, selon la direction du mouvement de la Terre elle-même sur laquelle nous reposons. Tout comme la pluie qui frappe irrémédiablement nos visages et qui nous semble systématiquement provenir de la direction vers laquelle nous nous dirigeons, même si en réalité elle tombe verticalement. Plus nous nous déplacerons rapidement pour y échapper, plus elle tombera obliquement pour mieux nous atteindre. Il en va de même de la lumière des étoiles que nous captons, alors que nous nous déplaçons avec la Terre à travers l'espace.

Cet effet, mesuré par Bradley, a pour conséquence de modifier la déclinaison de γ Draconis au maximum de $20''$ d'arc, alternativement dans un sens, puis dans un autre. Roemer (1644-1710) a déjà découvert en 1676 que la lumière se propage à une vitesse finie, bien que très grande, pour expliquer l'inégalité apparente dans les instants des éclipses des satellites de Jupiter. Il en est arrivé à une estimation du temps de trajet mis par la lumière pour voyager du Soleil à la Terre de 11 minutes environ. Par la suite, de nouvelles observations d'éclipses des satellites de Jupiter ont permis de ramener cette durée à environ 7 minutes. Bradley fait immédiatement le rappro-

chement entre cette durée et celle qu'il obtiendrait à partir du déplacement maximal en déclinaison de l'étoile du Dragon de $20''$ résultant du rapport entre la vitesse de la Terre sur son orbite et celle de la lumière qui doit alors être dans un rapport $1/10\,000$ approximativement (la dimension de l'orbite étant alors très incertaine, Bradley ne donne pas de valeur absolue à ces vitesses, dont nous savons de nos jours qu'elles sont respectivement de 30 km/s et de $300\,000\text{ km/s}$). En admettant que la lumière qui provient de l'étoile se propage avec la même vitesse que celle qui provient du Soleil, il trouve que le trajet Soleil-Terre doit être couvert par la lumière en 8 minutes 12 secondes, soit à presque le même résultat que celui issu de l'observation des éclipses des satellites de Jupiter, ce qui le conforte dans son explication de l'aberration observée qui résulte à la fois du mouvement de la Terre autour du Soleil et de la vitesse finie de la lumière.

La découverte de l'aberration de la lumière dite *annuelle* est l'un des résultats les plus remarquables de l'astronomie de position. La correction d'aberration à appliquer aux positions apparentes observées devient une obligation incontournable pour obtenir les positions vraies. Soulignons que le mot *aberration* n'apparaît pas dans l'article de Bradley publié en 1729, bien qu'il l'utilise dans son article de 1748 sur la *nutation*, autre effet astrométrique, dont la découverte est à mettre à son crédit, qui résulte d'une légère oscillation du pôle de la Terre provoquée par la Lune. La première mention de la désignation surgit dans un mémoire de 1737 d'Alexis Clairaut, intitulé *De l'aberration apparente des étoiles causée par le mouvement progressif de la lumière*, dans lequel, en introduction, il énonce simplement le fait que « c'est à M. Bradley que l'Astronomie est redevable de la belle découverte de l'Aberration de la Lumière ».

Cette découverte a deux conséquences importantes : pour la première fois, le déplacement de la Terre autour du Soleil est prouvé ; mais surtout, la

parallaxe annuelle des étoiles dont la recherche a suscité les travaux de Molyneux et de Bradley est une quantité angulaire excessivement petite, ne pouvant dépasser 1", qui est la précision du secteur zénithal de Graham, sinon elle aurait été détectée par Bradley. Friedrich Bessel (1784-1846), éminent spécialiste de l'astronomie de position du XIX^e siècle dont nous aurons l'occasion de reparler dans un prochain chapitre, indique l'existence d'une discontinuité dans le développement de l'astronomie de position après Bradley lorsqu'il écrit : « La fin du [XVIII^e] siècle n'a pas justifié les espoirs suscités en son milieu ». Selon lui, après la mort de Bradley, une période de stagnation s'est installée à Greenwich et dans les autres pays européens. Malgré quelques efforts délibérés pour améliorer la situation, aucun succès remarquable n'est enregistré. Ce n'est qu'après le tournant du siècle que de nouvelles impulsions permettent de faire progresser rapidement l'astronomie de position. Bessel affirme qu'il s'agit d'une règle générale dans le développement de la science : « chacune des périodes [...] montre [...] une conformité indubitable de son cours : elle s'ouvre avec splendeur, mais l'intention de son fondateur s'évanouit avec lui, pour n'être comprise que par un futur savant [...] ».

La découverte de l'aberration a un écho si retentissant parmi les astronomes que la renommée de Graham traverse les frontières. Désormais, les astronomes de l'Europe entière lui passent commande, à commencer par les Français. Ainsi, le mathématicien français Maupertuis (1698-1759), à l'occasion de l'expédition qu'il dirige en 1736 pour mesurer la longueur d'un degré d'arc de méridien en Laponie, lui commande un autre secteur zénithal. Conjointement à une autre expédition, également dépêchée par l'Académie des sciences, mais au Pérou cette fois, leurs observations démontrent que la vraie forme de la Terre est celle d'un sphéroïde aplati, ainsi que Newton l'a prédit comme conséquence de sa loi de l'attraction universelle.

John Bird, l'apogée des grands quarts-de-cercle

ALORS QUE GRAHAM arrive en fin de carrière, un nouvel artiste nommé John Bird (1709-1776) entre en scène fort opportunément. Graham le remarque au début des années 1740 suite à son travail de division des instruments de son assistant Jonathan Sisson (1690-1747). Avec l'aide de Graham, Bird ouvre son propre atelier, et en 1748, Bradley, qui vient de succéder à Halley en tant qu'astronome royal à Greenwich, lui donne sa première grosse commande : l'examen du vieux quadrant mural de 8 pieds de Graham construit pour Halley en 1725 et la construction d'un second quadrant destiné aux observations faites vers le nord. Le vieux quadrant de 8 pieds s'est altéré avec le temps du fait de son propre poids, Bradley a ainsi mesuré que l'arc du quadrant ne fait plus exactement 90°, mais lui est inférieur de 16". Bird se charge de rediviser et de rénover le quadrant qui entre en fonction en juin 1740.

Bird admire les anciens instruments, mais considère que leur plus grand défaut provient de l'usage du métal, fer ou acier, qui ne peut être forgé aussi bien que le laiton, et contribue ainsi à la déformation de la figure de l'instrument. Le laiton allié au fer est alors utilisé uniquement pour la partie graduée du cercle, pour l'alidade, etc. Mais les distorsions produites par la chaleur sont plus importantes en raison des coefficients de dilatation différents des deux métaux. Bird est le premier constructeur à n'utiliser que du laiton pour toutes les pièces, y compris celles utilisées pour l'assemblage, allégeant ainsi considérablement la structure du quart-de-cercle mural. Le nouveau quadrant mural de 8 pieds est construit sur ces principes, mais avec un nouveau mode opératoire dans la division du limbe gradué. Bird cherche avant tout à utiliser tous les moyens pour s'assurer que les variations de température de son

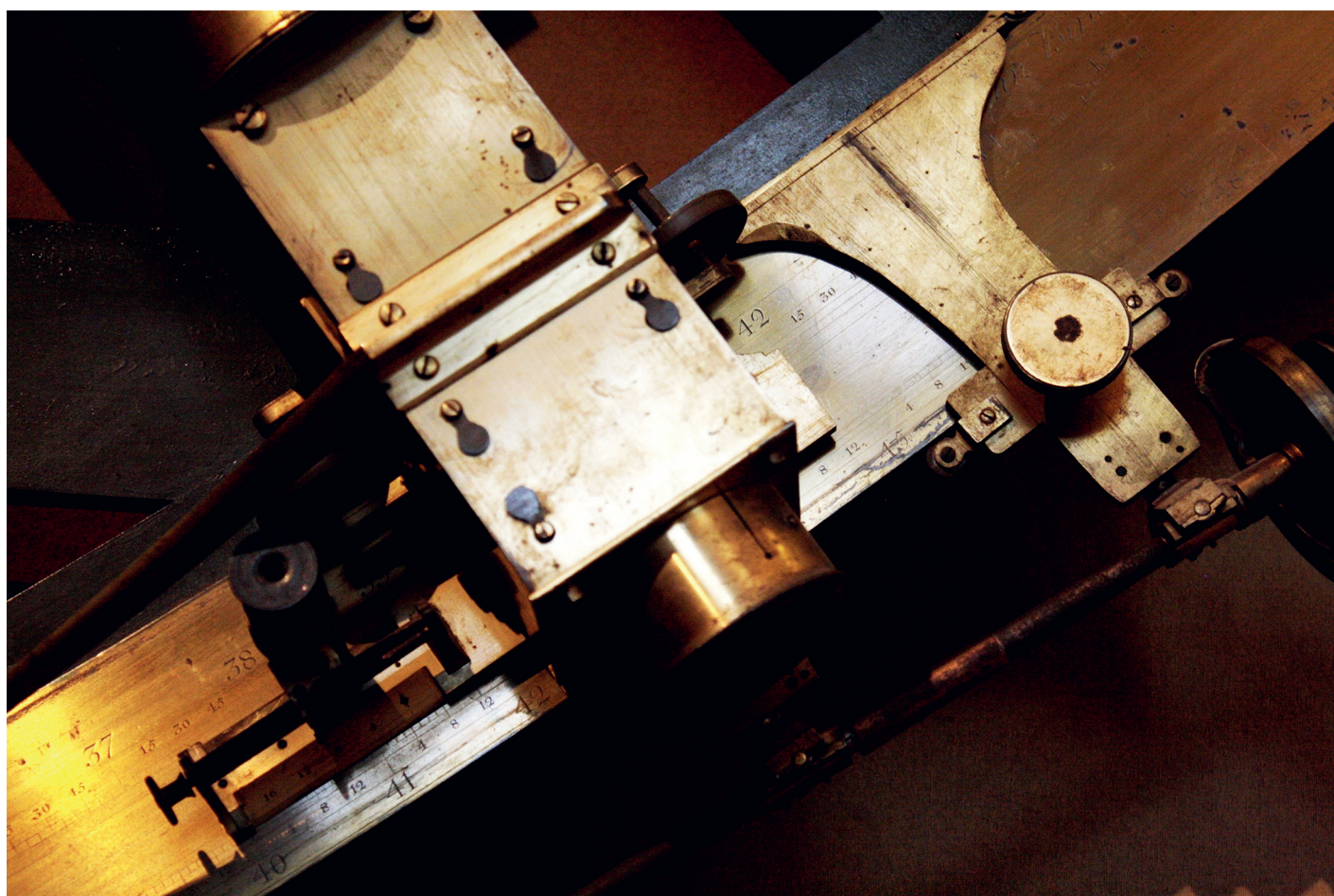


Fig. 3 – Détail du système de mesure sur le quart-de-cercle mural de Bird de 7,5 pieds de rayon de l'Observatoire de Paris.

En bas, la longue vis micrométrique permettant des déplacements fins de la lunette. Deux roulettes supérieures, imaginées par Graham, pour limiter le frottement de l'alidade sur le limbe. L'arc intérieur du limbe divisé en 90 degrés, chacun comportant 12 parties de 5' chacune ; l'arc extérieur est divisé en 96 parties, chacune comportant 16 subdivisions. La division en 96 parties est une idée de George Graham permettant une bisection plus simple et plus sûre de l'arc de cercle. La lecture au vernier – ou *nonius* –, à gauche sur la photo, ayant 17 divisions, se rapporte à l'arc extérieur. La division du vernier est l'équivalent de $1/256$ ($1/16^\circ \times 1/16^\circ$) de la 96° partie du quart-de-cercle, qui elle-même vaut $56'15''$, soit $13,5''$. Pour un quart-de-cercle de 2,28 m de rayon, la division du vernier est d'environ 2,5 mm, ainsi une lecture faite avec une précision de 0,25 mm ($1/10^\circ$ de division) grâce à une loupe donne une précision angulaire finale de l'ordre de la seconde de degré.

Crédits F. Vachier/IMCCE

atelier d'assemblage soient si minimes pour qu'elles ne puissent pas altérer la forme du limbe lors de la phase de sa division. C'est pourquoi il ne peut y avoir simultanément plus de deux personnes dans l'atelier, la gravure du limbe est faite uniquement par temps chaud, les mains ne doivent jamais être en contact avec le métal... Le nouveau quadrant est installé aux côtés de l'ancien le 10 août 1750. Toutes ces peines sont récompensées lorsqu'en 1753 Bird vérifie son quadrant : son arc est en excès de seulement $0,5''$ sur 90° . Il en est si fier qu'il mentionnera

en 1768 que le quadrant est « resté plus de dix-sept ans dans la même position, sans aucune altération sensible de sa forme ». Bradley observera alors de 1750 jusqu'à sa mort en 1762 sur ces deux grands quarts-de-cercle, l'un tourné vers le nord et l'autre vers le sud. C'est Bessel, en 1818, après avoir effectué la réduction complète des observations brutes, qui publiera le catalogue des observations de Bradley contenant 3112 étoiles, *Fundamenta Astronomiae*, avec une précision de quelques secondes d'arc.

Bird ne fait aucun mystère sur ses méthodes et, à la demande des commissaires du *Board of Longitudes*, publie en 1767 son premier traité, *The Method of Dividing Astronomical Instruments*, et en 1768 son second traité, *Method of Constructing Mural Quadrants: Exemplified by a Description of the Brass Mural Quadrant in the Royal Observatory of Greenwich*. Une seconde édition de ces deux traités majeurs paraît en 1785. Il semble que la dernière observation menée sur le quadrant mural en laiton de Bird date de 1824, à une époque à laquelle les quadrants s'effacent progressivement au profit d'un nouveau type d'instruments astronomiques, le cercle méridien, instrument emblématique des grands observatoires du XIX^e siècle. Bird a porté le quart-de-cercle mural au sommet de la perfection. La précision de lecture est la seconde de degré. On y retrouve la double graduation introduite par Graham (division de 90° et division en 96 parties), le micromètre et la lecture au vernier.

À son tour, Bird devient le grand fournisseur en instruments des astronomes les plus fameux de l'Europe : Tobias Mayer (1723-1762) pour l'observation de la Lune – 1751, quadrant de 6 pieds – et Le Monnier (1715-1799) en France – 1753, quadrant de 8 pieds ou 7,5 pieds de France, installé à l'observatoire des Capucins, puis à l'Observatoire de Paris en 1797 sur décision du Bureau des longitudes sur le « mur de Cassini » construit en 1781, où il est utilisé jusqu'en 1823 (fig. 3), servant principalement à la détermination astronomique de l'heure par des observations quotidiennes du temps sidéral. Lalande (1732-1807) s'en sert quant à lui pour son *Histoire céleste française* et son catalogue de 50 000 étoiles issu d'observations faites entre 1789 et 1798 et publié en 1801, qui rend de grands services en permettant la découverte de comètes et des petites planètes entre 1801 et 1821.

Jesse Ramsden, la révolution industrielle des instruments astronomiques

EN 1790, LALANDE, de l'Académie royale des sciences, traduit et publie un ouvrage essentiel pour tous les constructeurs d'instruments astronomiques : *Description d'une machine pour diviser les instruments de mathématiques*, par M. Ramsden de la Société Royale de Londres. L'ouvrage est publié à Londres en 1787 par ordre du *Board of Longitudes*. Dans sa préface, Lalande écrit :

Personne n'a jamais acquis autant de célébrité pour les instruments d'astronomie que M. Ramsden ; son génie pour l'invention des moyens, son talent pour la perfection de l'exécution ont surpassé tout ce qu'on avait connu jusqu'à présent. Mais un de ses plus précieux ouvrages est sa machine à diviser [...] Cette machine, dont M. Ramsden s'est occupé pendant dix ans, a été regardée comme un trésor pour la marine anglaise, et tous les artistes qui font des sextants pour l'observation des longitudes les envoient diviser chez M. Ramsden. Puisse cet exemplaire déterminer quelques artistes françois à entreprendre une pareille machine comme l'ont déjà fait quelques artistes anglois que M. Ramsden a pris la peine de diriger ! J'aurai rendu service à ma patrie si je puis contribuer à cette révolution dans nos arts, en faisant connoître à nos artistes cet objet de leur émulation.

En pleine Révolution française, Lalande qualifie à juste titre l'apport de Ramsden comme étant une « révolution » technologique.

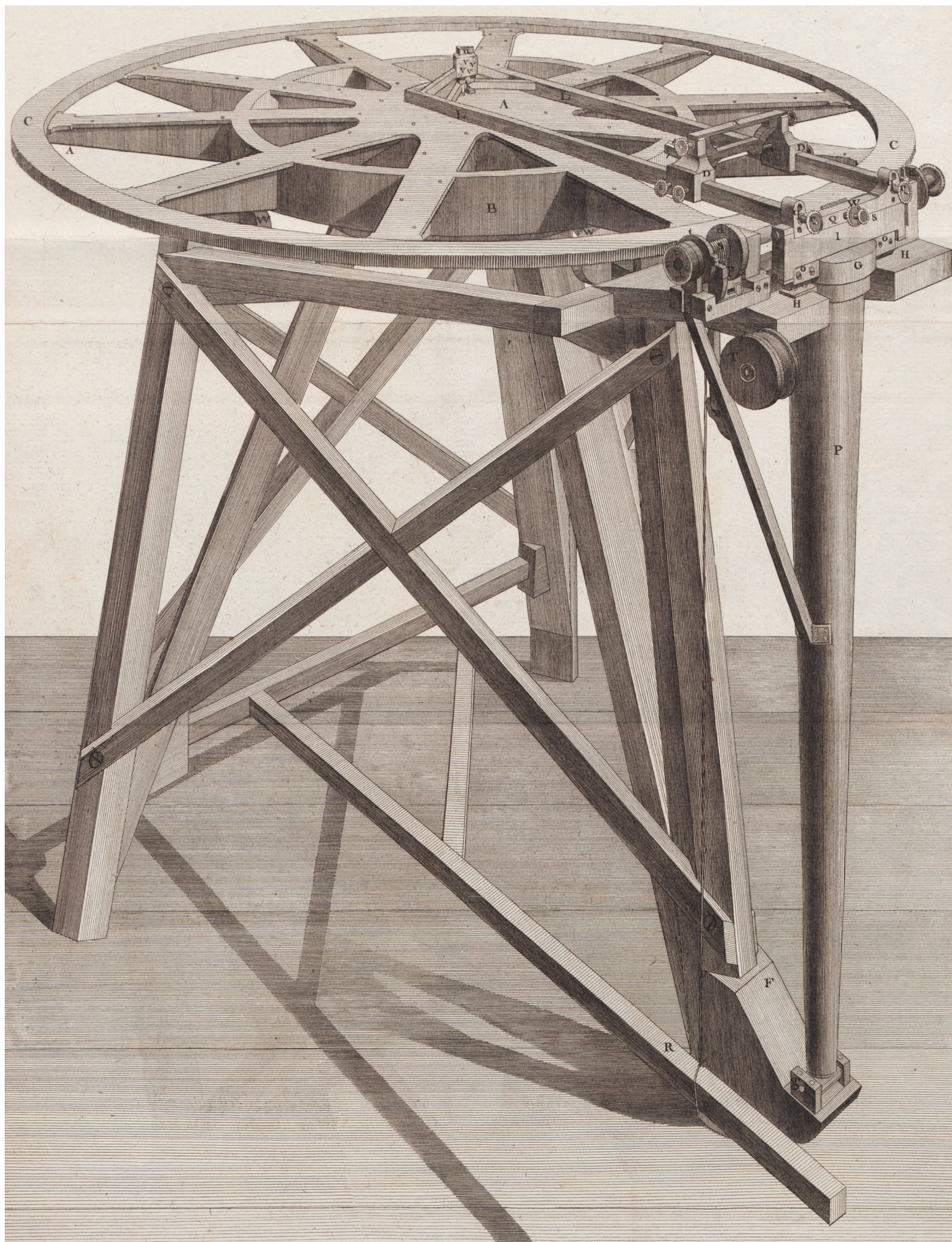


Fig. 4 - Machine à diviser de Ramsden.

Gravure tirée de l'ouvrage de Lalande *Description d'une machine pour diviser les instruments de mathématiques*, 1790.

Domaine public

Jesse Ramsden (1735-1800), petit-neveu d'Abraham Sharp et gendre de John Dollond l'inventeur officiel de la lunette achromatique en 1758, a de qui tenir. Il est d'abord un opticien renommé. On le connaît comme l'inventeur d'un oculaire qui aujourd'hui porte son nom, mais aussi comme étant le premier à réaliser l'importance pour toute vision télescopique de la taille et de la position exacte de la pupille de sortie, appelée jadis « disque de Ramsden ». La pupille de l'observateur doit être précisément positionnée au niveau de la pupille de sortie d'un système optique qui embrasse l'ensemble des rayons quittant l'instrument et passés par son objectif. La taille de la pupille de sortie est simplement donnée par le rapport entre le diamètre de l'objectif et le grossissement. Ramsden reconnaît cela le premier, et invente en 1775 un micromètre oculaire spécifique, destiné à mesurer avec précision le diamètre de la pupille de sortie d'un télescope, ce qui donne le grossissement par simple division avec le diamètre de l'objectif.

Là où Ramsden fait toute la différence et fait entrer l'astronomie instrumentale dans l'ère industrielle, c'est en s'attaquant au grand problème de la division du limbe gradué des instruments astronomiques. Bird a atteint un niveau de précision considérable, mais Ramsden va encore plus loin en recherchant une méthode pour effectuer des divisions de cercles gradués à la machine, afin d'éliminer l'erreur humaine et d'augmenter la production à faible coût, en particulier pour les petits instruments de navigation. Après avoir essayé pendant treize ans, de 1760 à 1773, Ramsden réussit à construire en 1768 la première machine à diviser circulaire. Elle trouve preneur à Paris en 1775, et il convient à propos de se demander si Ramsden a préféré l'envoyer en France, un pays avec lequel la Grande-Bretagne est alors en guerre, plutôt que de se risquer à le vendre à Londres où quelqu'un aurait pu l'améliorer avant que sa prochaine machine ne soit achevée. La seconde machine date de 1774 (fig. 4). Bird a examiné la précision sur le limbe gradué d'un sextant à l'aide

de cette machine. Il a montré que les graduations qui couvrent la totalité de l'arc de 120° ont une précision de 2/1 000^e de pouces (0,05 mm). À l'époque, une coupe de 4/1 000^e de pouce est considérée comme la plus petite graduation visible, soit moins d'une seconde d'arc sur un rayon de quatre pieds. Après l'introduction de la deuxième machine à diviser de Ramsden, la division manuelle des octants et des sextants cède rapidement la place à la division par machine. Pour attester de la qualité supérieure de sa machine à diviser, Ramsden appose sa marque propriétaire qui est une ancre de plomb flanquée de ses initiales, on la retrouve sur des instruments d'autres fabricants. Ramsden fabrique quelque 1 450 sextants entre 1760 et 1800. Il ouvre la voie à la révolution industrielle dans le domaine des instruments scientifiques de précision. Ramsden sera également le fournisseur des grandes expéditions scientifiques : celles du capitaine Cook (1768-1771, 1772-1775, 1776-1780) pour observer le passage de Vénus de 1769 ; celle du capitaine John Philips (1744-1792) vers le pôle Nord en 1773 et celle de Lapérouse (1741-1788) entre 1785 et 1788 avec des sextants de 9 et de 12 pouces de rayon.

Dès 1778-1779, Ramsden propose un catalogue avec une liste d'instruments. En tant que constructeur, il est aussi le premier à déclarer sa préférence pour le cercle mural plutôt que pour le quadrant mural. Il écrit au sujet d'un cercle de 12 pieds de diamètre :

Il est construit selon un principe entièrement nouveau : ses rayons, au lieu d'être solides, sont faits avec des tubes coniques, par cette méthode le cercle est inconcevablement plus résistant et plus léger de sorte qu'il n'a pas tendance à altérer sa figure sous l'effet de son propre poids, même s'il est fait de vingt pieds de diamètre. Les astronomes doivent aisément constater l'immense supériorité d'un cercle sur un quadrant, ce dernier ne permettant pas de détecter les erreurs

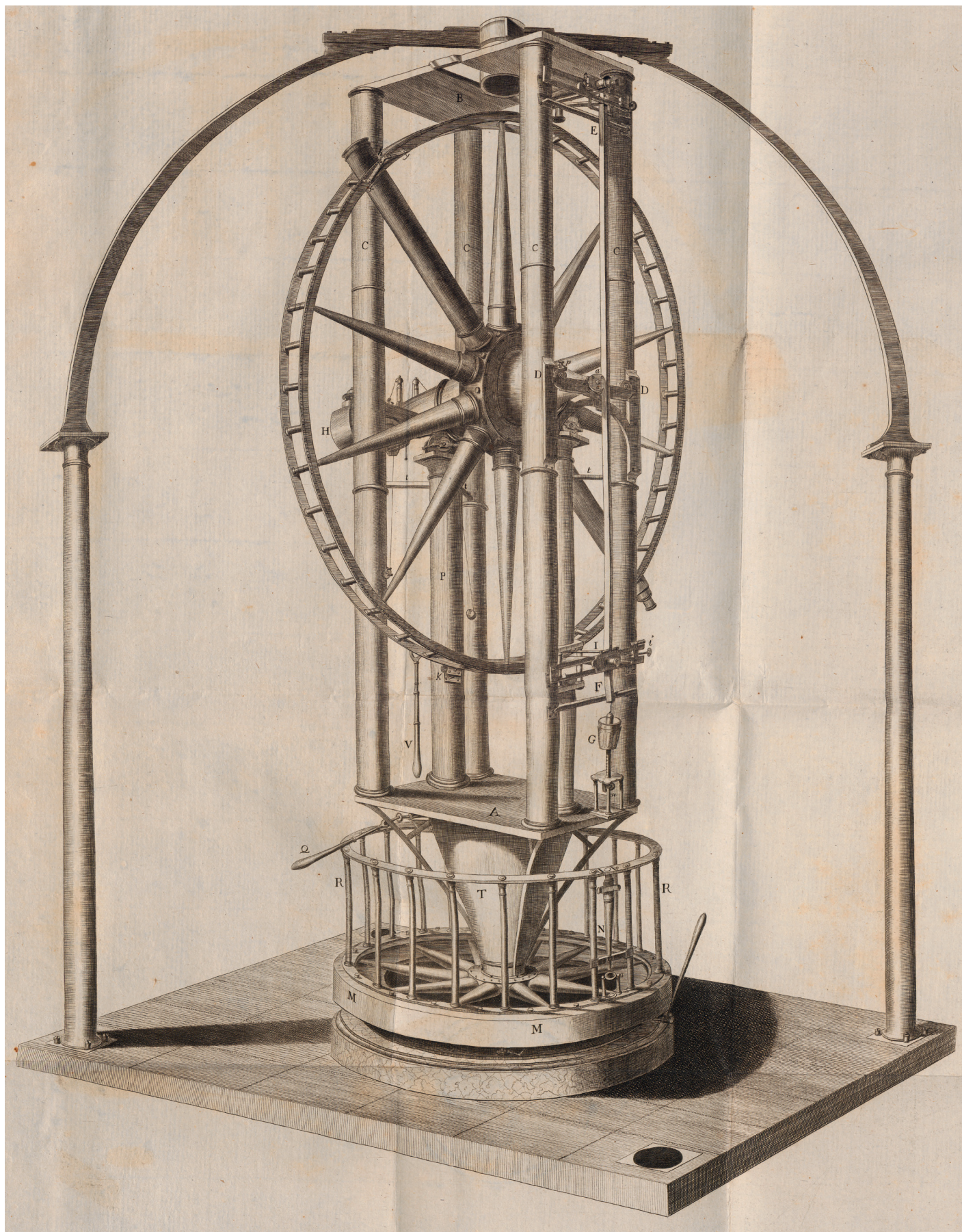


Fig. 5 – Cercle altazimutal de Ramsden, installé à Palerme et utilisé par Giuseppe Piazzi.

Il a en particulier servi à la découverte du premier astéroïde, Cérès, le 1^{er} janvier 1801. Gravure tirée de l'ouvrage de Giuseppe Piazzi *Della specola astronomica de' regi studi di Palermo libri quattro*, 1792.

Domaine public

de construction et d'exécution. L'instrument est considéré comme parfait, ce qui est peut-être très erroné ; le cercle n'est pas dans ce cas, toute imperfection du centre, toute erreur de division, etc. peut être corrigée.

Pour l'heure, les astronomes ne sont pas encore sensibles au plaidoyer de Ramsden en faveur du cercle mural. Toutefois, en 1792, l'astronome royal Nevil Maskelyne (1732-1811) en recommande l'usage. Il sera finalement réalisé bien après la mort de Ramsden, par Edward Troughton (1753-1835) : un cercle de 6 pieds de diamètre avec un télescope de 4 pouces d'ouverture et doté de 6 micromètres, qui sera opérationnel le 23 mai 1812. Les observations d'Uranus effectuées à Greenwich entre 1750 et 1830, notamment avec le cercle mural, par Maskelyne, puis John Pond (1767-1836), couplées à celles effectuées à l'Observatoire de Paris entre 1800 et 1820, mèneront à la mise en évidence des irrégularités du mouvement d'Uranus par Alexis Bouvard (1767-1843) en 1821, qui trouveront leur explication par la découverte de Neptune en 1846.

Entre temps, un astronome italien, Giuseppe Piazzi (1746-1826) de Palerme, de passage Londres en 1788, est grandement intéressé par un cercle altazimutal et vient en passer commande à Ramsden (fig. 5). Piazzi a la très bonne idée de rester à Londres tout le temps de la fabrication, ce qui permettra à Ramsden d'achever son cercle en temps et en heure et de l'envoyer à Palerme en 1789. C'est avec cet instrument que Piazzi découvrira le 1^{er} janvier 1801 le premier astéroïde, Cérès, devenu depuis le 24 août 2006 le premier corps de la famille des *planètes naines*. Le cercle de Palerme restera en fonction jusqu'à la moitié du XIX^e siècle. Il est démonté en 1899 pour être installé dans la bibliothèque de l'observatoire.

Et en France ?

EN FRANCE, LE RETARD EST PATENT, mais, à partir de l'été 1728, la manne financière de l'Académie royale des sciences se remet à fonctionner et l'impulsion est redonnée en 1730 par Jacques Cassini (1677-1756) – dit Cassini III – lors de la construction de la grande ligne méridienne. Il découvre et lance à cette occasion un grand constructeur qui fera école, Claude Langlois (1703-1756), premier *ingénieur en instruments de mathématiques* à être nommé par l'Académie des sciences. Langlois construira quasiment la totalité des instruments des astronomes français jusqu'à sa mort en 1760. Vers la fin du siècle, en 1784, Jean-Dominique Cassini – dit Cassini IV – tente de doter l'Observatoire de Paris d'un cercle entier et d'un grand mural de 8 pieds qui doivent être construits par des artistes français (Charité et Mégnié) dans des ateliers installés dans l'enceinte de l'Observatoire. Cependant, l'inexpérience des constructeurs, les travaux de restauration de l'Observatoire, puis la Révolution auront raison des ambitions de Cassini.

De nombreux instruments divisés sortent des mains de Langlois, mais il en est un qui laissera son empreinte dans l'histoire de l'astronomie : le grand sextant de 6 pieds de rayon (194 cm) doté d'un arc de 64° divisé de 10' en 10'. Sa grande particularité, qui en fait aussi son originalité, tient dans le fait qu'il est muni de deux lunettes invariablement fixées à angle droit sur les faces opposées du limbe gradué et alignées sur les graduations 0° et 60° (fig. 6). Le sextant à deux lunettes tient lieu de quart-de-cercle portatif. En effet, grâce à l'apposition d'une seconde lunette perpendiculaire à la première, le sextant peut couvrir toutes les hauteurs depuis l'horizon jusqu'au zénith, tout comme le fait un quart-de-cercle. Ainsi arrangé, le sextant est considérablement plus léger et moins encombrant qu'un quart-de-cercle de 6 pieds.

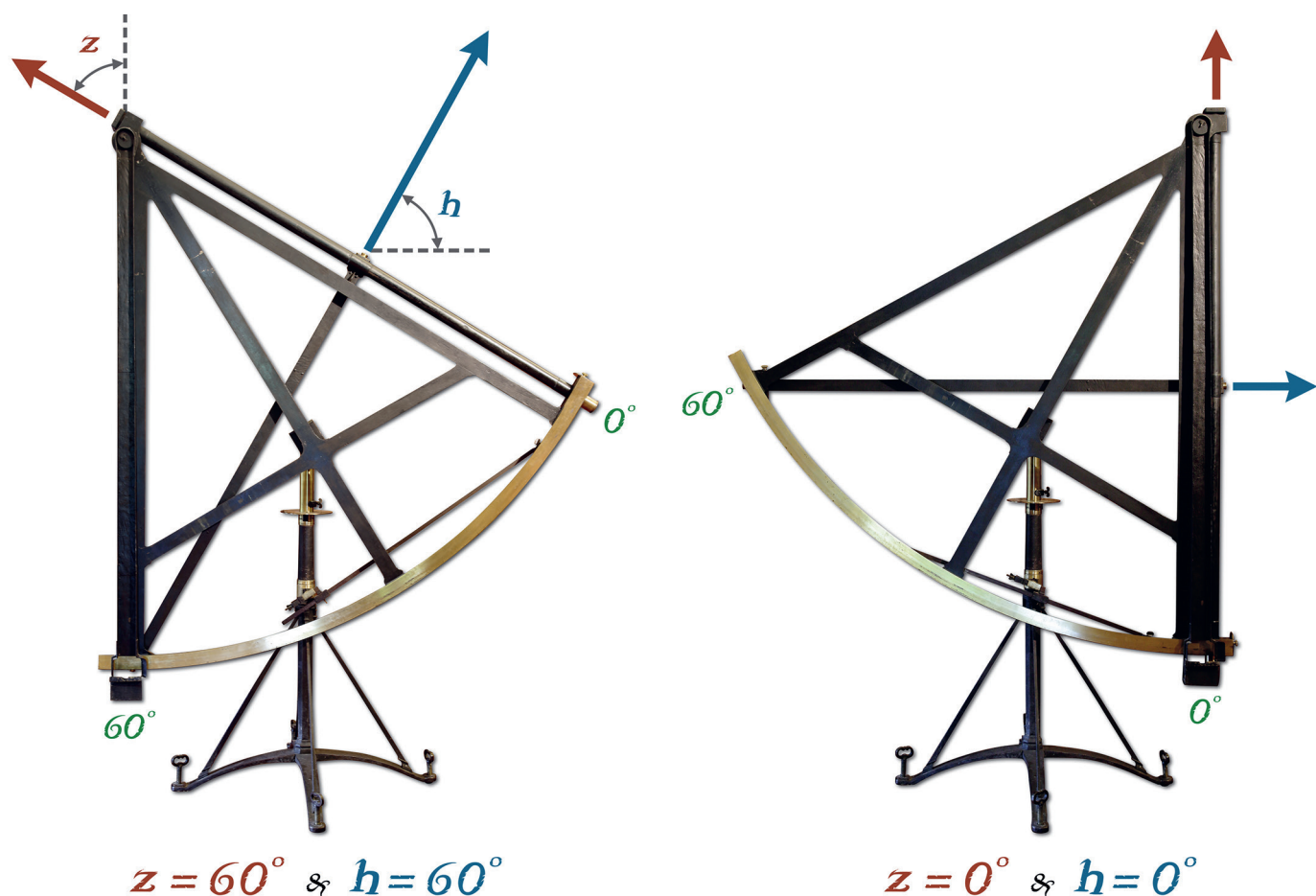


Fig. 6 – Sextant de Langlois de 6 pieds de rayon à deux lunettes perpendiculaires.

L'une des lunettes est en mesure d'observer les étoiles depuis l'horizon jusqu'à une hauteur de 60°, tandis que la seconde lunette parcourt un secteur angulaire entre le zénith et un angle zénithal de 60°.

Crédits P. Rocher/IMCCE (légendes Y. Gominet/P. Descamps/IMCCE)

Le sextant de Langlois est initialement destiné au président de l'académie de Saint-Petersbourg, dont le décès en 1750 oblige Langlois à le conserver. Nicolas Louis de Lacaille (1713-1762) le rachète au comptant et déclare, par un écrit de sa propre main, qu'il appartient désormais à l'Académie. Lacaille l'emporte avec lui lors de sa grande expédition au Cap dans le but de cartographier le ciel austral.

De son long séjour au Cap (1751-1754), aidé seulement d'un ouvrier qu'il a emmené, Lacaille écrit l'une des plus belles pages de l'histoire de l'astronomie du XVIII^e siècle. Il se range aux côtés des grands astronomes aventuriers et explorateurs de ce siècle, prêts à parcourir le monde malgré les nombreux périls encourus. Il y observe près de 10000 étoiles

jusqu'à la magnitude 9, dresse le premier catalogue d'objets *nébuleux* (1755), bien avant le célèbre catalogue de Messier (1781) et crée quatorze nouvelles constellations conservées jusqu'à nos jours. Ce travail lui permet d'établir en 1757 une table des 397 étoiles brillantes (*Astronomiae Fundamenta*), et en 1763 un catalogue de 1942 étoiles du ciel austral jusqu'à la magnitude 7 (*Coelum Australe Stelliferum*). Ce sera le seul catalogue du ciel austral jusqu'en 1820, époque à laquelle le gouvernement britannique décide d'établir un observatoire au Cap.

En dépit d'un équipement de mesure réduit, micromètre à fil mobile sur chaque lunette, mais sans vernier, l'instrument rivalise avec un quadrant de Bird de même dimension. La précision des obser-

vations de Lacaille au Cap est de l'ordre de 4", équivalente à celle obtenue par les trois autres grands astronomes du XVIII^e siècle, chacun équipé d'un grand cercle mural d'au moins six pieds de rayon construit par l'un des meilleurs fabricants d'instruments, l'anglais James Bird. Il s'agit de James Bradley à Greenwich, Tobias Mayer à Göttingen et Charles Le Monnier à Paris.

Épilogue

MAURICE DAUMAS, dans sa monumentale *Histoire générale des techniques* (t. II, 1965), écrit :

L'invention de la machine de Ramsden peut être considérée comme marquant la fin d'une période d'adaptation de l'industrie de l'instrumentation qui a ouvert la voie à l'industrie des instruments légers de précision, qui s'est avérée si importante pour le développement des techniques industrielles modernes à la fin du dix-neuvième siècle.

positif restera secret jusqu'à ce que sa machine soit démontée et analysée après sa mort.

Le XVIII^e siècle consacre ainsi l'hyperspécialisation des fabricants d'instruments astronomiques de précision qui crée une véritable industrie de haute technologie. Leur essor résulte des exigences de précision des astronomes. Au bout du siècle, les artistes ont donné aux astronomes la seconde de degré, progrès considérable, néanmoins encore insuffisant pour plonger dans les profondeurs de l'Univers pour y mesurer la distance des étoiles. Ce sera le grand défi du XIX^e siècle pour lesquels astronomes et artistes devront unir leurs talents pour être en mesure d'accéder au dixième de seconde de degré.

Par la suite, la construction de machines à diviser prend son essor et se répand à travers l'Europe : en Angleterre par Edward Troughton (1753-1835), en Allemagne par Georg Reichenbach (1772-1826) et en France par des mécaniciens exceptionnels tels que Étienne Lenoir (1744-1832) et son fils Paul-Étienne Lenoir (1776-1827), Nicolas Fortin (1750-1831) et Henri Gambey (1787-1847), lequel sera le premier à construire en 1809 une machine à diviser les cercles astronomiques de grand diamètre. Il inventera à cette occasion un procédé lui permettant de graduer la circonférence des cercles métalliques sans avoir à les centrer sur la plate-forme de la machine, d'où un important gain de temps et une réalisation parfaite. Son dis-

Références

- J. Bradley, E. Halley & G. Sarton, *Discovery of the Aberration of Light*, Isis, vol. 16, n° 2, 1931.
- A. Chapman, « The Accuracy of Angular Measuring Instruments Used in Astronomy Between 1500 and 1850 », *Journal for the History of Astronomy*, vol. 14, n° 40, 1983.
- A. McConnel, Jesse Ramsden (1735-1800), *London's Leading Scientific Instrument Maker*, Routledge, 2016.
- M. Daumas, *Histoire générale des techniques*, Presses universitaires de France, tome II, 1965.
- H.C. King, *The History of the Telescope*, New York : Dover & Londres : Griffin, 1955.
- P.S. Laurie, « The Buildings and Old Instruments of the Royal Observatory, Greenwich », *The Observatory*, vol. 80, 1960, p. 13-22.
- F. Soulu, *Le Cercle mural méridien de Fortin à l'Observatoire de Paris*, 2021 (<http://bdl.ahp-numerique.fr/galerie-instrumentsbdl-fs-cercle-mural-fortin>).
- F. Soulu & F. Le Guet Tully, *Un constructeur mystérieux*, 2019 ([hal-03213158](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03213158)).
- M. Williams, « James Bradley and the Eighteenth Century 'Gap' in Attempts to Measure Annual Stellar Parallax », *Notes and Records of the Royal Society of London*, vol. 37, n° 1, 1982, p. 83-100.

