

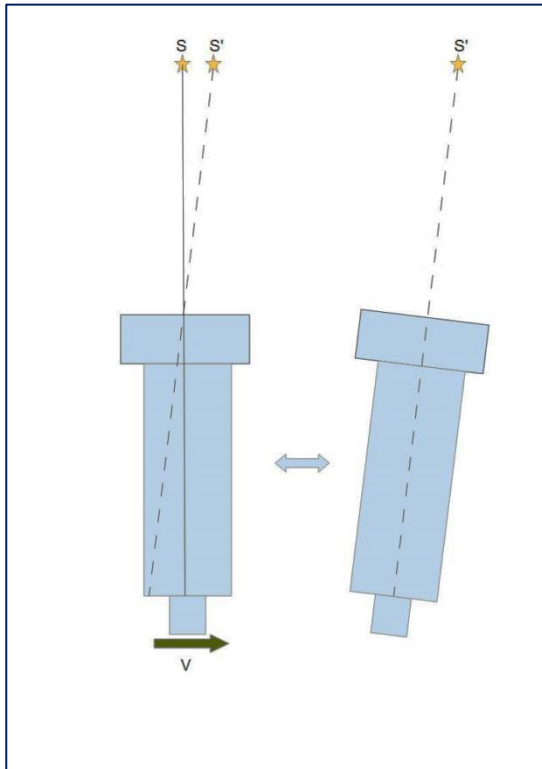
À LA RECHERCHE DE LA PARALLAXE SOLAIRE (8/11)

Toute la lumière sur la parallaxe

Si l'on disposait d'un messager des cieux, la mesure de la distance Terre-Soleil en serait grandement facilitée. Il suffirait d'envoyer ce messager sur le Soleil et de mesurer le temps qu'il mettrait pour ce voyage. À l'aide de la connaissance de sa vitesse, la distance parcourue s'en déduirait alors instantanément. Un tel messager existe, il file à grande vitesse en ligne droite, bien que de temps à autre, sa seconde nature, lors de la rencontre d'un obstacle, le pousse à faire des vagues et à le faire dévier de sa trajectoire. Ce messager est la lumière. Qui d'autre, mieux que lui, pourrait nous éclairer sur cette fameuse parallaxe solaire ?

Cependant, deux inconnues subsistent : la vitesse de notre messager et le temps de parcours de la Terre au Soleil, c'est-à-dire le temps mis pour traverser le rayon de l'orbite terrestre (ou encore le demi-grand axe de son orbite). Les premières mesures « sérieuses » de la vitesse de la lumière remontent au XIX^e siècle : Fizeau en 1849, Foucault en 1862, Cornu en 1874 puis Michelson en 1879. Cornu a utilisé la méthode de Fizeau de la roue dentée entre l'Observatoire et la tour de Montlhéry (distance de 22 910m) ; il obtient une valeur de 300 400 km/s. Michelson, par la méthode du miroir tournant de Foucault, arrive à la valeur de 299 930 km/s. De nos jours, la vitesse de la lumière a été définitivement *arrêtée* et fixée à une valeur entière de 299 792 458 m/s lors de la conférence internationale des poids et mesures de 1983. Il ne reste que le temps de parcours à déterminer. Sa première détermination remonte à Ole Roemer (1644-1710) en 1676 à partir de l'observation des éclipses des satellites de Jupiter. Il trouve une durée de 11 minutes. Halley est par la suite revenu sur cette valeur et l'a donnée égale à 8min 30s en 1694. Delambre l'estime à 8min 13s à partir d'observations faites entre 1662 et 1802, et 8mn 20s par Glasenapp à partir des éclipses observées entre 1848 et 1873. La valeur de Glasenapp donne une parallaxe de 8,74" si l'on admet la valeur de Cornu pour la vitesse de la lumière.

Mais il existe une autre façon d'utiliser la lumière pour la mesure de la parallaxe solaire. Il n'est plus nécessaire de connaître le temps mis par la lumière pour voyager du Soleil à la Terre, il n'est même plus question du Soleil mais des étoiles vers lesquelles nous nous tournons maintenant. Quand nous levons la tête pour les contempler, la sensation d'immobilité et d'éternité que nous pouvons ressentir n'est qu'illusion. Depuis la Terre où nous résidons, nous les observons, animés nous-mêmes d'une grande



vitesse, celle de la Terre qui nous emporte dans l'espace à près de 30 km/s. L'immobilité est donc toute relative.

Fig. 1 : Aberration stellaire. Le mouvement de translation de la Terre à la vitesse V dans l'espace emporte la lunette à la même vitesse. La position vraie d'une étoile S semblera se trouver en une position apparente S' : Entre le moment où la lumière de l'astre pénètre dans l'instrument et celui où elle atteint le plan focal, l'instrument s'est légèrement déplacé. Par conséquent, pour maintenir S' au centre du champ, il est nécessaire d'incliner l'instrument dans la direction du déplacement de la Terre. Ce petit angle est l'aberration stellaire.

Ce mouvement va engendrer une autre illusion, cette fois-ci sur la position des étoiles du ciel : nous les voyons là où elles ne sont pas ! Et si nous décidons de les observer durant une année entière, elles vont nous donner l'impression de circuler le long d'une petite courbe fermée, une ellipse, dont le centre est la position vraie de l'étoile. Cette position vraie ne peut être observée directement, elle ne peut être obtenue que par le calcul. Ce comportement fut jugé comme aberrant lors de sa découverte par James Bradley (1693-1762) en 1728. Il cherchait à mesurer la parallaxe stellaire de γ *Draconis* et découvrit un effet inconnu jusqu'alors qu'il baptisa *aberration stellaire* ou *aberration annuelle des fixes*. L'aberration provient de la combinaison de deux vitesses, la vitesse de la Terre et celle de la lumière, dont l'effet est de toujours écarter la position apparente d'une étoile de sa position vraie. Bradley publie sa découverte dans les *Philosophical Transactions* le 1^{er} janvier 1727 (*An account of a new discovered motion of the fixed stars*). Bradley non seulement découvre l'aberration mais en déduit également une nouvelle valeur du temps de parcours de la Lumière pour venir du Soleil à nous, 8min 13s. Il estime que ce temps de lumière peut ainsi être déterminé avec une précision de 5 ou 10 s, donc nettement supérieure à celle provenant de l'observation des éclipses des satellites galiléens. L'aberration consiste en fait en un abaissement de la position apparente de l'étoile selon la direction du mouvement de la Terre (Fig. 1). La constante de l'aberration, notée C , marque le rapport entre la vitesse de la Terre et celle de la lumière. Bradley la détermine à environ 20,25" de degré, ce qui est conséquent mais ne pouvait être découvert qu'au XVIII^e, à une époque où la précision des instruments de mesure commençait à passer sous les 10". La constante de l'aberration exprime simplement le fait que la lumière voyage plus de 10 000 fois plus vite que la Terre. L'aberration d'une étoile s'obtient en multipliant le rapport de la vitesse de la Terre à la vitesse de

la lumière par le sinus de l'angle que la direction du mouvement de la Terre fait avec le rayon visuel (Fig. 2).

La détermination précise de la constante C de l'aberration procure une nouvelle méthode pour mesurer la parallaxe solaire. En effet, l'aberration est directement fonction de la vitesse orbitale de la Terre et par conséquent de sa distance au Soleil. Par exemple, sur Neptune, dont la vitesse orbitale est de 5,4 km/s, l'aberration n'est que de 3,7", quantité que nous n'aurions pu mesurer avant le XIX^e siècle si nous avions été des Neptuniens ! La formule qui exprime cette relation entre la parallaxe solaire π et la constante de l'aberration C est la suivante :

$$\sin \pi = \frac{nR_0}{\sqrt{1 - e^2}} \frac{1}{Cc}$$

Dans laquelle e est l'excentricité de l'orbite terrestre, c la vitesse de la lumière et R_0 le rayon de la Terre. L'aberration est généralement mesurée par l'observation de la variation de la déclinaison d'une étoile durant une année entière. Les premières valeurs réellement précises sont obtenues par Friedrich Bessel (1784-1846) à partir des observations de Bradley à Greenwich menées jusqu'en 1754 et publiée en 1818 dans ses *Fundamenta astronomiae*, $C = 20,475''$; et ensuite par Wilhelm Struve (1793-1864) par des observations à la grande lunette méridienne de Dorpat entre 1814 et 1821, $C = 20,445''$.

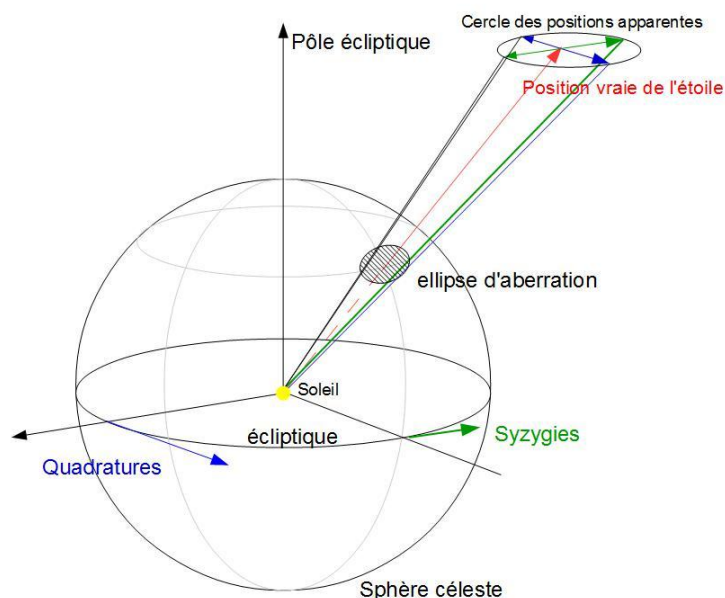


Fig. 2 : La distance du vrai lieu de l'étoile à son lieu apparent décrit un cercle dont le plan est parallèle à celui de l'écliptique, et par conséquent ce cercle se projette dans le ciel (sur la sphère céleste) en une ellipse, dont le grand axe est parallèle au plan de l'écliptique, le petit axe lui est perpendiculaire. Dans les syzygies (oppositions ou conjonctions de l'étoile et du Soleil), l'aberration est « toute en longitude » et la plus grande possible. Dans les quadratures, l'aberration est toute en latitude, l'étoile paraît à l'extrémité du petit axe de son ellipse.

Vers la fin du XIX^e siècle, le désaccord est encore profond entre les astronomes pour s'accorder sur une même valeur de l'aberration et donc de la parallaxe solaire. C'est alors qu'un astronome de l'Observatoire

de Paris, Maurice Loewy (1833-1907), va proposer au début des années 1870 une nouvelle méthode de mesure de l'aberration qu'il associe à un nouveau concept de lunette équatoriale : l'équatorial coudé (Fig. 3). Le premier instrument de ce type et son pavillon d'observation sont achevés et installés en 1884

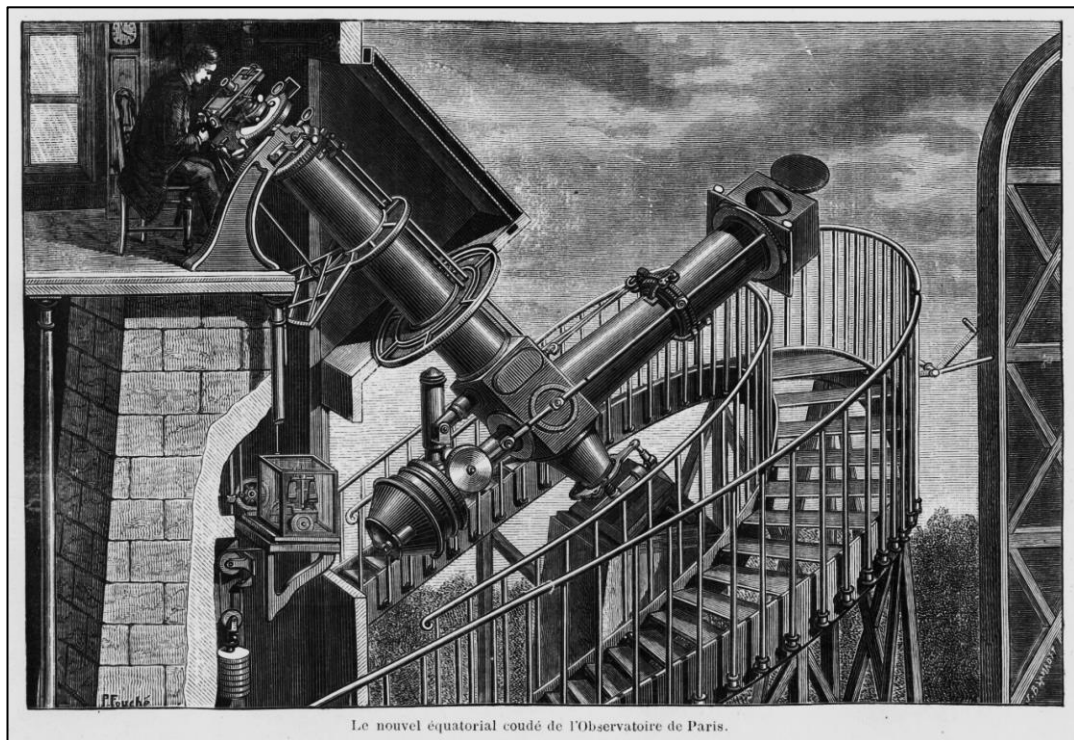
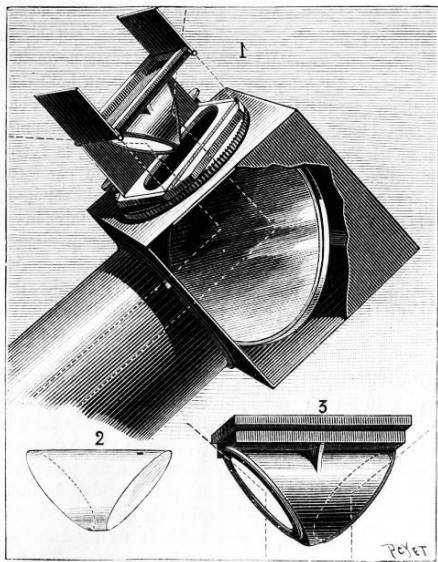


Fig. 3 : Petit équatorial coudé de Loewy. Le mouvement de rotation de la Terre change à tout instant la position apparente d'un astre de sorte qu'un observateur doit se déplacer en permanence. L'observation exige donc trois déplacements, celui de la lunette, celui de l'observateur et celui de la coupole. L'incommodité des positions de l'astronome exigées par le déplacement de l'oculaire est l'une des raisons du nouveau projet de télescope. Le nouveau dispositif utilise deux miroirs plans inclinés à 45° . Le petit coudé fonctionnera jusqu'en 1952, année de sa destruction. Son objectif a un diamètre de 27 cm avec une focale de 7 m. La lunette est brisée à angle droit et, à l'aide d'un petit miroir, elle renvoie la lumière dans un des tourillons percés de l'axe horaire où se trouve le micromètre. En avant de l'objectif se trouve un second miroir plan incliné à 45° et attaché au cercle de déclinaison.

sur le terre-plein annexé à l'Observatoire. Aussitôt, Loewy met en œuvre sa nouvelle méthode de détermination de la constante d'aberration. Elle se base sur l'utilisation d'un double miroir placé devant l'objectif et destiné à ramener dans la même direction les rayons venant d'astres angulairement très éloignés les uns des autres (Fig. 4). Cette méthode présente de nombreux avantages sur les méthodes classiques : elle est plus précise, plus rapide – six mois d'observation suffisent –, moins sujette aux erreurs systématiques. Par un choix judicieux du couple d'étoiles (zodiacales de préférence), Loewy montre que la variation de distance de deux étoiles provoquée par l'aberration peut au maximum se monter à $2\sqrt{2}C$ pour un double miroir ouvert à 45° , donc pour des étoiles séparées angulairement d'environ 90° (Fig. 5). Cette action est plus considérable que celle occasionnée sur les coordonnées de chaque étoile de sorte que la mesure de l'aberration en est rendue plus précise. Avec cette sorte de grand compas céleste différentiel, Loewy trouve en 1891 la valeur de $20,447 \pm 0,024''$, ce qui correspond à une parallaxe de $8,81''$.



Appareil de M. Loewy pour corriger l'aberration. — 1. Appareil placé sur la lunette d'observation. — 2. Double miroir taillé dans un bloc de verre. — 3. Montage du miroir.

Fig. 4 : Dispositif imaginé par Loewy pour la mesure de la constante de l'aberration. Un double miroir est placé en avant de l'objectif du petit équatorial coudé. Il s'agit des deux faces d'un prisme qui ont été argentées. Le prisme pouvait avoir un angle au sommet de 45° (celui qui fut utilisé) ou de 60° (celui de la gravure).

Lors de la *Conférence internationale des étoiles fondamentales* – la première du genre - tenue à Paris du 18 au 21 mai 1896, organisée par le Bureau des longitudes et présidée par Loewy, réunissant les directeurs des différents services d'éphémérides astronomiques

(France, GB, USA, Russie, Allemagne, Pays-Bas), Simon Newcomb présente un rapport visant à homogénéiser les éphémérides par l'emploi d'un unique jeu de constantes fondamentales (précession, nutation, parallaxe, aberration, masses, ...). La conférence va s'arrêter sur une valeur du coefficient de l'aberration de 20,47". Elle sera cependant violemment critiquée, notamment par Seth Chandler (1846-1913) qui écrit en 1901 : « je hasarde seulement l'opinion que les limites 20,48" et 20,58" comprennent probablement la vraie valeur. » (*The Astronomical Journal*, 427). Cependant, la valeur de l'aberration adoptée par la « French conference » conduira à une parallaxe solaire de 8,80". On en est là au tout début du XX^e siècle.

Fig. 5 : Méthode de Loewy : Deux étoiles zodiacales séparées angulairement de 90° sont observées durant six mois. Les positions vraies sont repérées par les étoiles jaunes, les positions apparentes par les étoiles bleues. Le déplacement dû à l'aberration se fait selon la direction du mouvement de la Terre (flèches bleues). Selon le théorème de Loewy : « l'action exercée par l'aberration sur le grand arc reliant deux étoiles est proportionnelle au cosinus de l'angle formé entre la médiane et la direction du mouvement ». Par conséquent, lorsque la médiane fait un angle de 90° avec la direction du mouvement (position 2), l'effet de l'aberration sur la distance angulaire est nul. Il est en revanche maximum lorsque la médiane se retrouve dans la même direction que le mouvement (positions 1 et 3).

