

Les mesures de vitesse de la lumière



3. Le miroir tournant : la mesure de la vitesse de la lumière par Foucault

◆ La lumière se propageant très rapidement, il faut pour mesurer sa vitesse disposer d'un moyen de mettre en évidence des phénomènes extrêmement rapides, dont il est intéressant de faire l'histoire. En 1834, lors d'un voyage en Grande Bretagne, François Arago (1786-1853) avait entendu parler d'un appareil construit la même année par le physicien anglais Charles Wheatstone (1802-1875) en vue de mesurer la «vitesse de l'électricité» [c'est-à-dire la vitesse de propagation de l'électricité dans un conducteur]. Wheatstone amenait l'une au dessus de l'autre deux étincelles produites aux deux extrémités d'un long conducteur double, alimenté à l'une de ces extrémités par une machine électrostatique, et les examinait par réflexion sur un miroir tournant très rapidement : si l'étincelle de l'extrémité éloignée avait été en retard sur l'autre, il l'aurait vue décalée angulairement, le miroir ayant un peu tourné dans l'intervalle. Wheatstone ne vit aucun décalage et en déduisit que la propagation de l'électricité était rapide. Sa méthode était astucieuse, et Arago suggéra en 1838 de l'utiliser pour savoir si la lumière se propageait plus vite dans l'air ou dans l'eau. Le but de cette expérience était de choisir entre les deux théories concurrentes sur la nature de la lumière : la théorie corpusculaire de Newton, où elle va plus vite dans l'eau, et la théorie ondulatoire de Fresnel, seule admise aujourd'hui, où c'est l'inverse.

◆ Arago imagina donc de faire une longue étincelle, dont Wheatstone avait montré qu'elle durait très peu de temps (Fig. 1). La lumière issue de la partie basse de l'étincelle passerait dans un tube plein d'eau tandis que celle de la partie haute passerait dans l'air. Les deux rayons arriveraient alors sur un miroir tournant autour d'un axe vertical, et le plus lent d'entre eux, qui arriverait plus tard sur le miroir, serait réfléchi d'un angle plus grand. On aurait regardé ces rayons réfléchis avec une lunette, et on aurait vu lequel aurait mis le plus de temps à parvenir au miroir.

◆ Arago fit construire par Louis Bréguet (1804-1883) un miroir conservé à l'Observatoire de Paris, qui pouvait tourner jusqu'à 2000 ou 3000 tours par seconde ; mais, malade, il ne put réaliser l'expérience.

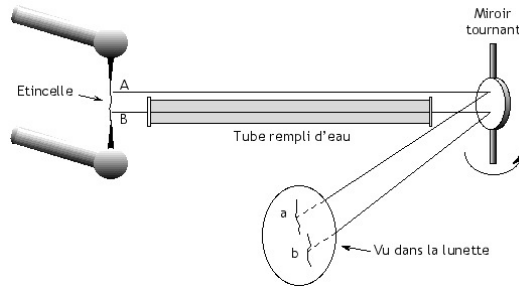


Figure 1. Principe de la comparaison de la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau par Arago.

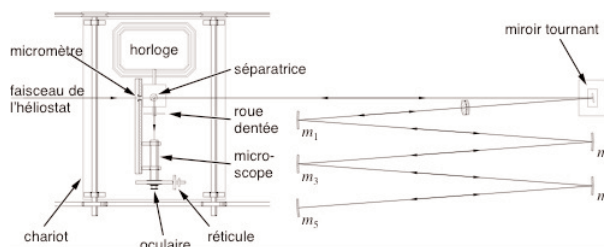


Figure 2. L'appareil de Foucault pour mesurer la vitesse de la lumière en 1862. La lumière du Soleil renvoyée par un héliostat éclairait un micromètre puis arrivait sur le miroir tournant. Celui-ci l'envoyait via les miroirs m_1 , m_2 , m_3 et m_4 sur le miroir concave m_5 qui la renvoyait sur le miroir tournant par le chemin inverse. Celui-ci, ayant légèrement tourné pendant ce temps, réfléchissait la lumière dans une direction très légèrement différente de la direction d'arrivée. Une lame séparatrice semi-transparente envoyait le faisceau sur le côté, et l'on pouvait observer dans l'oculaire l'image du micromètre, dont on mesurait le déplacement par rapport aux fils d'un réticule. On voyait aussi dans l'oculaire le bord d'une roue comportant 400 dents, entraînée par une horloge à 1 tour par seconde, ce qui permettait de régler par stroboscopie la vitesse de rotation du miroir à 400 tours par seconde exactement.

Elle fut perfectionnée et réussie en 1850 avec ce même miroir par Hippolyte Fizeau. Mais un autre physicien l'avait déjà faite sept semaines auparavant avec un miroir tournant de sa conception, construit par Gustave Froment (1815-1865) : c'était Léon Foucault (1819-1868). Les deux physiciens, qui se brouillèrent à cette occasion, trouvèrent le même résultat : la lumière allait plus vite dans l'air que dans l'eau, ce qui confortait la théorie ondulatoire de Fresnel.

◆ Devenu Physicien de l'Observatoire, Foucault en 1862 reprit, à la demande de son directeur Urbain Le Verrier (1811-1877), la méthode du miroir tournant pour mesurer la vitesse de la lumière de façon absolue. La mesure de Fizeau en 1849 n'avait pas une bonne précision et il fallait faire mieux. Foucault fit construire par Froment un appareil qui est partiellement conservé à l'Observatoire de Paris (Fig. 2), dont des répliques d'époque existent en plusieurs endroits. Le miroir tournant était entraîné par une turbine à air comprimé alimentée par une soufflerie très stable construite par le facteur d'orgues Aristide

Cavaillé-Coll (1811-1899). Sa vitesse - un point critique pour la mesure - était réglée à 400 tours par seconde par un procédé de stroboscopie inventé pour l'occasion. La distance aller-retour parcourue par la lumière était de 40,4 mètres, grâce à un train de cinq miroirs de renvoi. Le déplacement de l'image était mesuré avec précision grâce à un micromètre. En 1862, Foucault obtint la valeur de 298 000 kilomètres par seconde pour la vitesse de la lumière, avec une incertitude estimée, de façon un peu optimiste, à 500 kilomètres par seconde (la valeur exacte est 299 792 km/s). Combinée avec le temps mis par la lumière pour parcourir la distance de la Terre au Soleil, cette mesure ramenait cette distance à 148,3 millions de kilomètres, peu différente de ce qu'avait prédit Le Verrier à partir de ses calculs de mécanique céleste (la valeur admise actuellement est 149,6 millions de km).