

PRESENTE

LES MAGICIENS DE LA LUMIERE

REALISE PAR
SERGE GUYON
&
CHRISTINE AZEMAR

AVEC
JEAN-BAPTISTE GUINCHARD
FRANÇOIS PICK
TEWFIK BENSNOUSSI
THIERRY MONFRAY
BERYL COUTAT

AUTEURS SCIENTIFIQUES :
PIERRE LAUGINIE (GHDSO)
ET ALAIN SARFATI (IAC)

DIALOGUES :
LAURENT BARATON

Les magiciens de la lumière

La vitesse de la lumière de Galilée à Léon Foucault

Pierre LAUGINIE

Groupe d'Histoire et de Diffusion des sciences d'Orsay (GHDSO)

Université Paris-Sud

Faculté des sciences d'Orsay

Introduction

Léon Foucault et le miroir tournant

Léon Foucault réalise en 1850 et 1862, avec le « miroir tournant » deux expériences à finalités très différentes :

- ▶ 1850 : discriminer entre deux modèles de la structure de la lumière, une finalité de nature *épistémologique* ;
- ▶ 1862 : mesure absolue de la vitesse de la lumière dans l'air : une finalité *métrologique*.

Brève chronologie de la vitesse de la lumière

- ▶ de l'Antiquité grecque au début du XVII^e siècle, un débat bi-millénaire, culminant avec Descartes :
la lumière a-t-elle une vitesse ?
- ▶ fin XVII^e et début XVIII^e siècle : via l'Astronomie,
la lumière acquiert une vitesse
- ▶ XIX^e siècle : renversement de situation dû à la nouvelle possibilité de mesures *terrestres* :
 - ▶ *un critère de choix entre modèles de la lumière*
 - ▶ *un nouvel outil pour les distances astronomiques*
- ▶ XX^e siècle : Einstein et *l'invariance générale* de la vitesse de la lumière.

*De l'Antiquité grecque à Descartes, un débat
essentiellement abstrait ...*

Haut Moyen-âge arabe

Ibn al-Haytham (965-1039, « al-Hazen » dans les textes latins)

- ▶ *la lumière est une substance* ;
- ▶ des *rayons se propagent en ligne droite de la source à l'oeil* ;
- ▶ « *ce qui va de la source à l'objet qui lui fait face requiert un temps même si ce temps demeure caché à nos sens* »

Après la chute de l'Empire arabe, le débat ne reprendra vraiment qu'au XVII^e siècle avec Descartes et Galilée ...

Galilée (1564-1642) en 1624



Ainsi, au milieu du XVII^e siècle, la question de la finitude de la vitesse de la lumière demeure ouverte

La solution émergera finalement à partir de préoccupations totalement différentes. . .

Ole Rømer (1644-1710) et Jean-Dominique Cassini (1625-1712)



Aberration stellaire (Bradley, 1728)

Analogie avec la pluie



Lumière : $\tan \beta = \frac{v}{c}$

$\beta \approx 10^{-4}$ rad soit $20''$

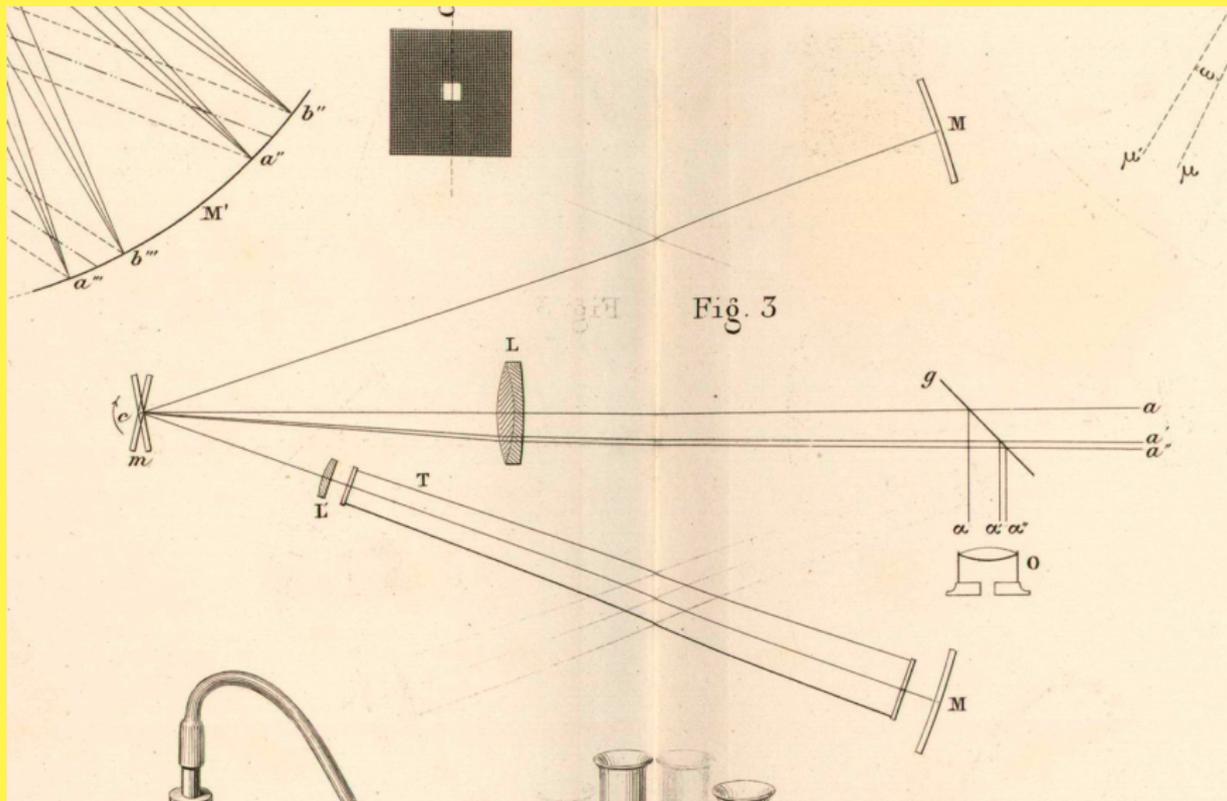
L'explication la plus simple de l'aberration s'obtient par analogie avec la propagation de la lumière à celle des gouttes de pluie. Si le vent ne souffle, les gouttes de pluie tombent verticalement, l'homme au repos avec un parapluie directement au-dessus de sa tête ne sera pas mouillé. Si cet homme court, en tenant le parapluie dans la même position, le devant de son manteau sera mouillé. Par rapport à la personne, en mouvement, les gouttes de pluie tombent à un angle.

- ▶ Ainsi, dès le premier tiers du XVIII^e siècle, la *finitude de la vitesse de la lumière* est définitivement acquise, et la valeur déduite des mesures de Bradley est déjà environ 300 000 km/s.
- ▶ mais cette valeur n'entre aucune problématique et n'a, évidemment, aucune application.

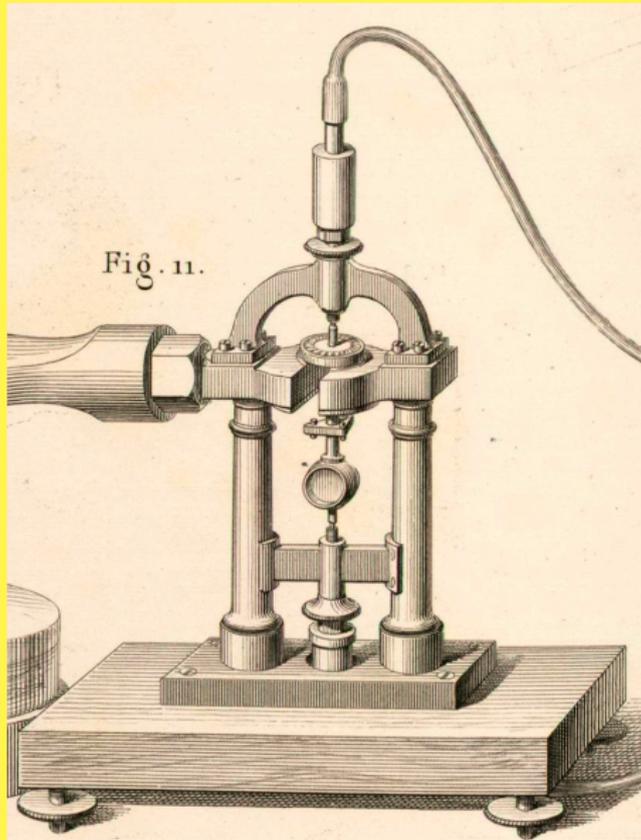
XIX^e siècle : la vitesse de la lumière revient sur Terre !

- ▶ jusqu'au XIX^e siècle, la valeur de la vitesse de la lumière *résulte uniquement d'observations astronomiques*.
- ▶ milieu XIX^e siècle : *elle se mesure sur Terre*. Nouveau !
Conséquences :
 - ▶ un *critère* pour décider – croît-on – entre modèles de la lumière ;
 - ▶ un nouvel *outil* pour la mesure des distances.

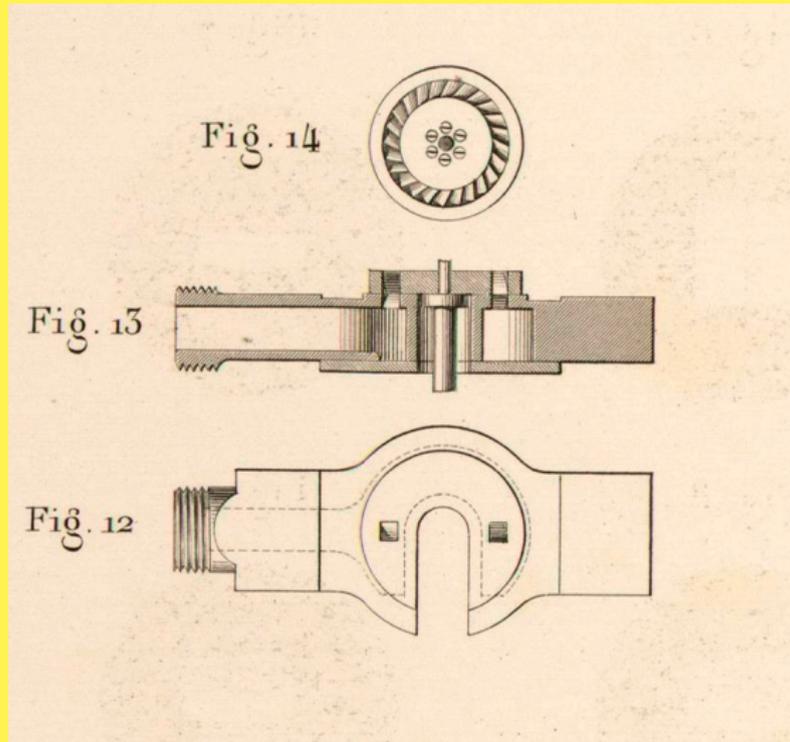
Foucault-1850 : principe de l'expérience



Foucault 1850 : le miroir tournant



Foucault-1850 : la turbine (sirène de Cagniard-Latour)



Foucault-1850 : ce qu'il voyait

Fig. 8

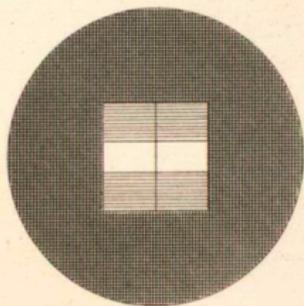
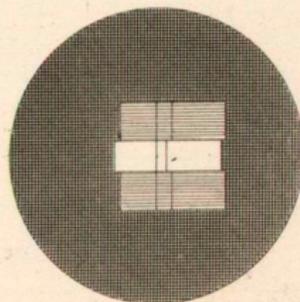
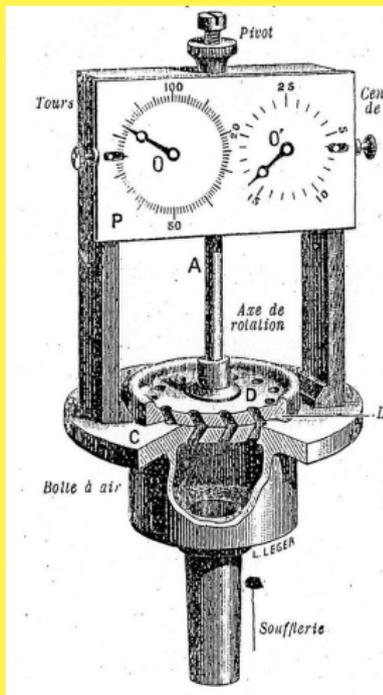


Fig. 9



Sirène de Cagniard-Latour)



Collection Lycée Bertrand de Born, Périgueux (Courtesy of ASEISTE).

Une expérience « cruciale » ?

- ▶ y a-t-il quelque chose, non pas de crucial, mais de *définitif* dans l'expérience de Foucault ?
- ▶ Oui : désormais plus aucune théorie, plus aucun modèle ne pourra affirmer que la lumière se propage plus vite dans l'eau que dans l'air.
- ▶ ainsi, une expérience réussie *contraint* les théories du futur. La science se construit ainsi.

Milieu XIX^e siècle : un nouvel outil pour la mesure des distances

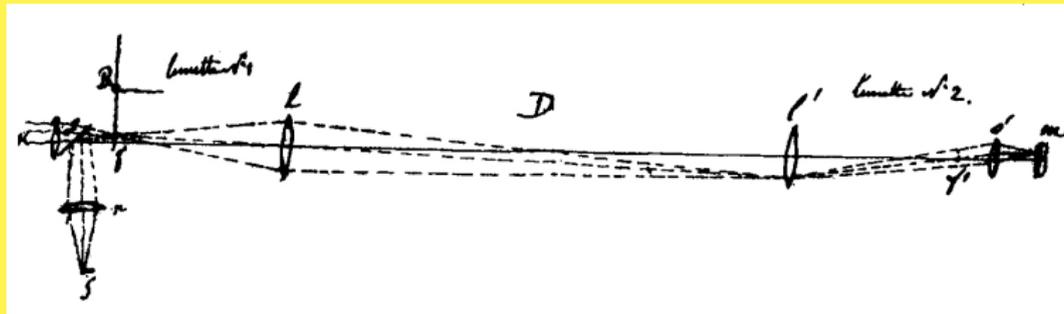
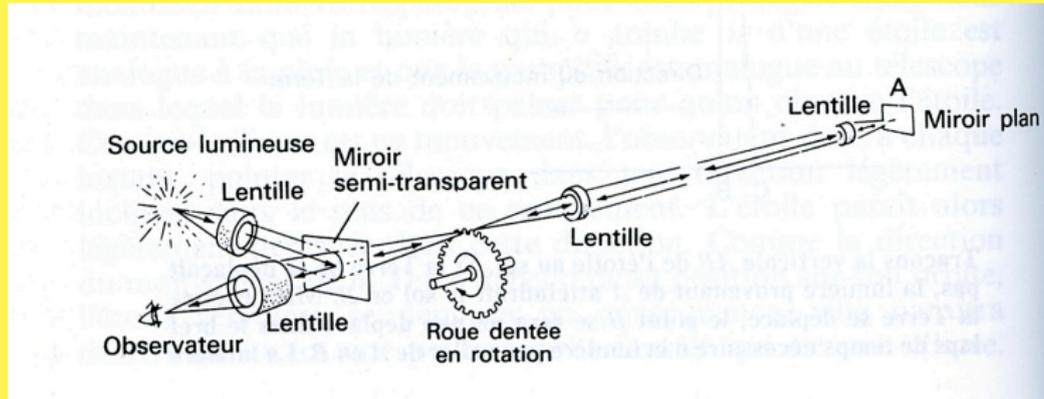
Les mesures de Fizeau (1849) et Foucault (1862)

La vitesse de la lumière entre dans le domaine de la Métrologie, ou

« Comment la lumière deviendra la source de toutes les mesures »

Charlotte Biggs

Schéma expérience de Fizeau (1849)



Un raisonnement inversé :

la vitesse de la lumière et les distances astronomiques

- ▶ les satellites de Jupiter donnent le temps mis par la lumière pour traverser l'orbite de la Terre. Mesurez indépendamment la vitesse de la lumière et vous avez la longueur de cette orbite, d'où la distance Terre-Soleil (unité astronomique).
- ▶ de même, sachant que

$$\text{angle d'aberration} = \frac{\text{vitesse Terre}}{c}$$

vous déduisez la vitesse de la Terre ($\sim 10^{-4}c$), d'où le diamètre de l'orbite.

La mesure de Foucault de 1862

Vitesse absolue de la lumière dans l'air

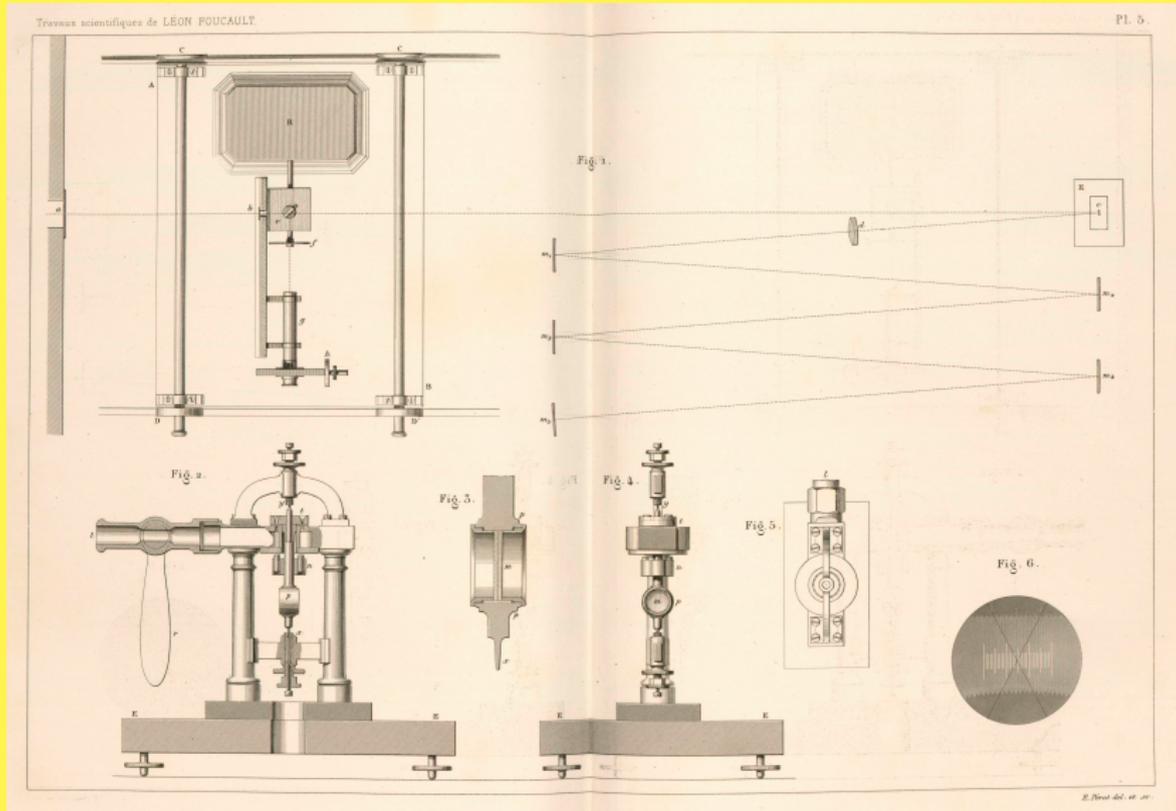
- ▶ l'astronome Le Verrier demande à Foucault une *mesure précise* de la vitesse de la lumière.
- ▶ Foucault adapte son expérience de 1850 et publie
298 000 km/s
- ▶ La distance Terre-Soleil en est *réduite* d'autant. Le Verrier est content !

Adapter le dispositif d'une expérience qualitative à une expérience de Métrologie

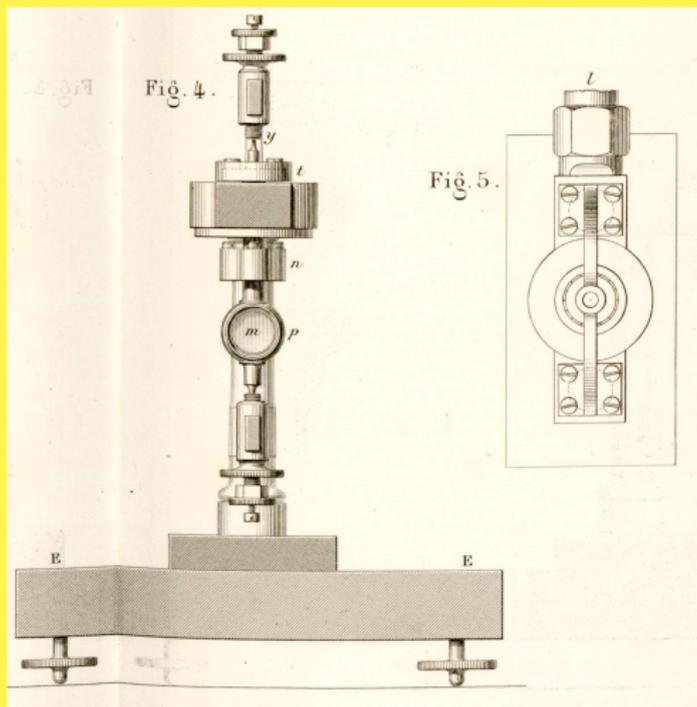
Trois ordres de contraintes :

- ▶ des contraintes *optiques* : augmenter la distance entraîne
 - ▶ divergence du faisceau ;
 - ▶ réduction d'intensité de l'image.
- ▶ des contraintes *mécaniques* ;
 - ▶ la turbine entièrement à revoir ;
 - ▶ limiter encore les vibrations ;
 - ▶ l'alimentation en air et la soufflerie.
- ▶ des contraintes *chronométriques* : mesurer avec précision la vitesse de rotation du miroir.

L'expérience de Foucault de 1862 : planche originale

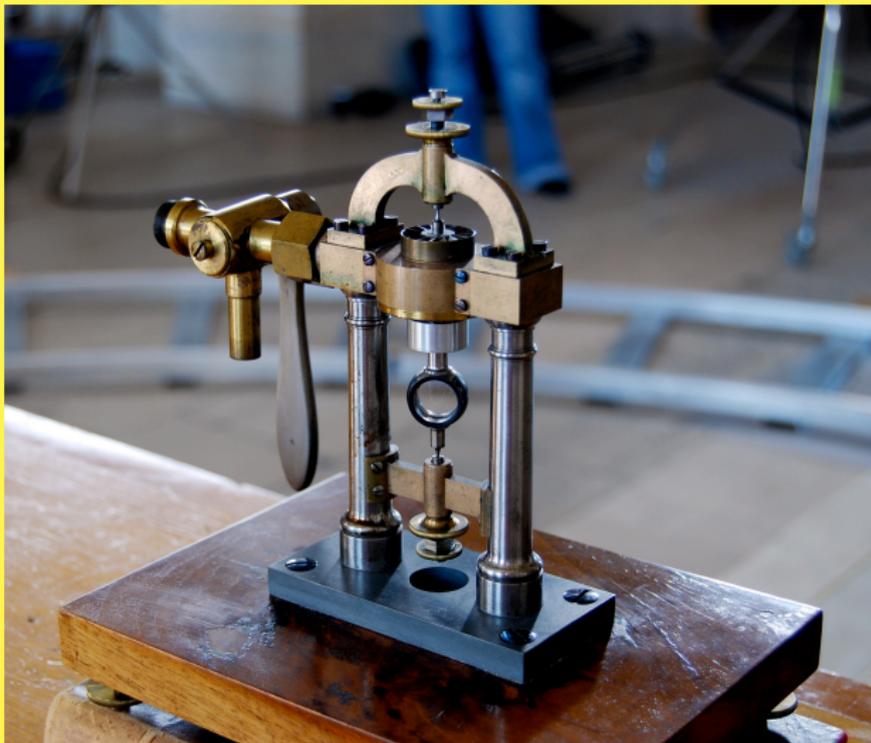


Foucault-1862 : schéma du miroir tournant



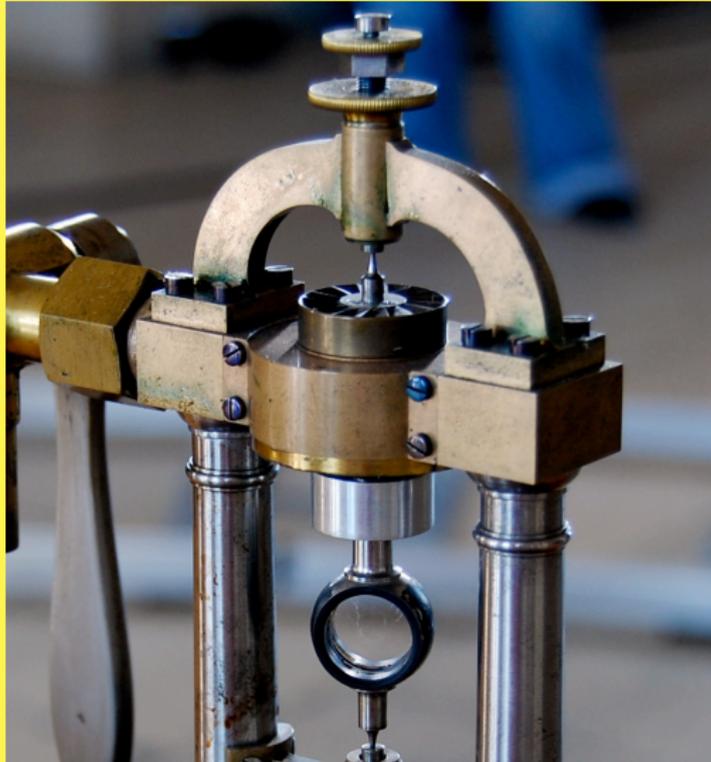
Noter l'ajout d'un cylindre en aluminium (au-dessus du miroir) autour des vis d'équilibrage de l'axe d'inertie.

Foucault-1862 : le miroir tournant



Modèle original, Observatoire de Paris
(noter que le miroir a perdu son argenture)

Foucault-1862 : détails du miroir tournant



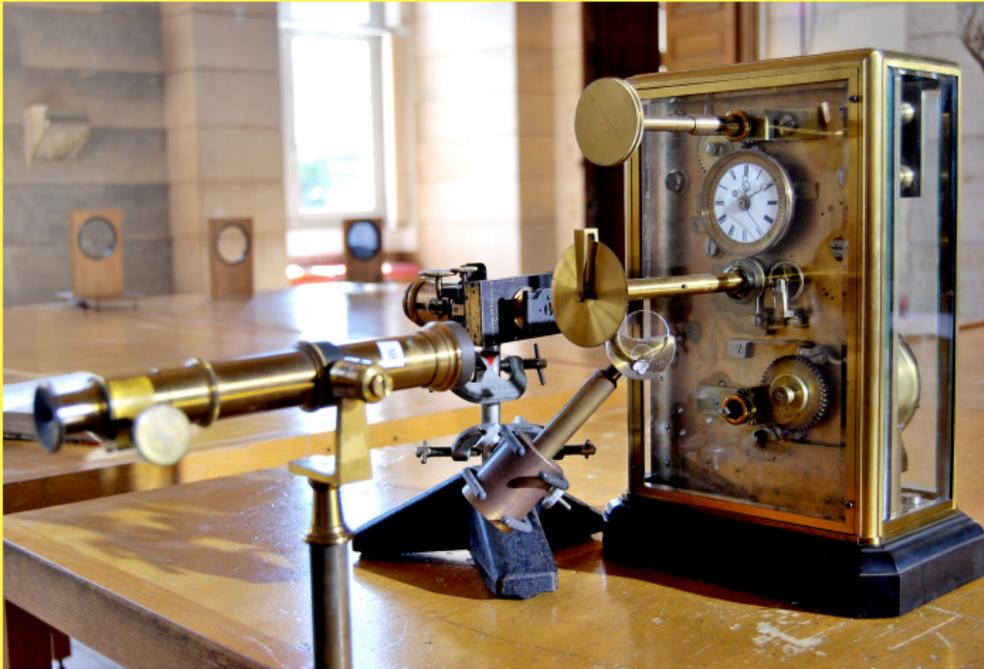
De bas en haut : le miroir tournant (sans argenture), le cylindre d'aluminium entourant les vis d'ajustement de l'axe d'inertie, la turbine à 16 pales re-dessinée par Girard.

Foucault-1862 : la soufflerie de Cavallé-Coll



Modèle original (ou copie ?) (Musée des arts et métiers, Paris)

Foucault-1862 : l'horloge stroboscopique, par Froment



Modèle original (Observatoire de Paris)

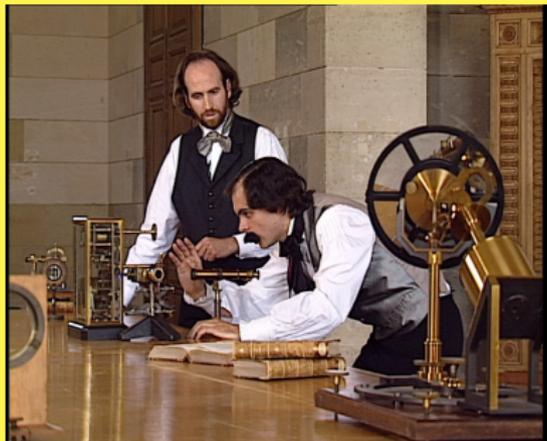
Au total, innovations mécaniques et chronométriques feront que :

« il m'arrive de lancer le miroir à 400 tours par seconde et de voir les deux appareils marcher d'accord à 1/10000 près pendant des minutes entières »

(Foucault, 1862)

Un film d'Histoire des sciences

« *Les magiciens de la lumière* »



Réalisation :

*Service de création audiovisuelle de la faculté d'Orsay (SCAVO)
Université Paris-Sud*

Tournage de l'expérience de 1862



Salle Cassini, Observatoire de Paris
(le lieu même de l'expérience originale)

L'équipe du film



L'équipe du film

Réalisateurs	:	Christine AZÉMAR (SCAVO) et Serge GUYON (SCAVO)
Cadreur	:	Max RELID (SCAVO)
Auteurs scientifiques	:	Alain SAREFATI (Lab. A. Cotton et SCAVO) et Pierre LAUGINIE (GHDSO)
Documentation	:	Maria DESCARGUES (SCAVO)
Dialogues	:	Laurent BARATTON (École polytechnique)
Producteur	:	Université Paris-Sud, SCAVO
Co-producteurs	:	Observ. de Paris, Triangle de la Physique
Textes (livret et DVD-2)	:	Pierre LAUGINIE

(Les images se lisent de gauche à droite et de haut en bas)

ANNEXES

Antiquité grecque

- ▶ Excepté Empédocle d'Agrigente, un dogme quasi-général : lumière et vision (en général non distingués) sont des *phénomènes instantanés*
- ▶ cependant, cette quasi-unanimité recouvre des points de vue très différents :
 - ▶ la vision comme *changement d'état global* : actualisation du « diaphane », donc pas de vitesse, ce qui est très différent d'une vitesse infinie (Aristote)
 - ▶ ou bien « quelque chose » se propage, soit *à partir de l'oeil* : Euclide et le « rayon visuel » ; ou *à partir de la source* : Lucrèce et les « simulacres » ; ou *les deux à la fois* : Platon et la rencontre du « feu visuel » et du « feu externe »
- ▶ noter que le concept de *rayon visuel* apporte un argument fort en faveur d'une propagation instantanée

Descartes (1596-1650)

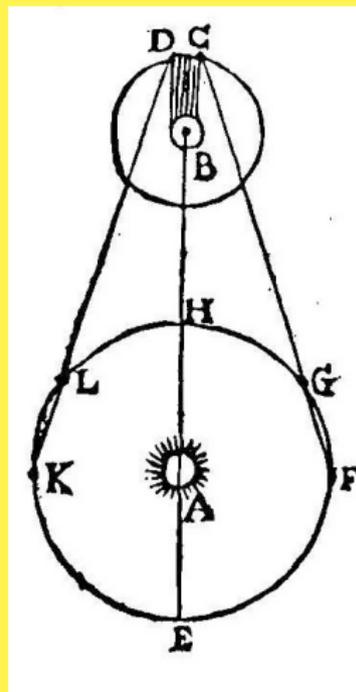
- ▶ propagation successive dans l'espace d'une *tendance au mouvement*, *sans* transport de matière, et obéissant aux *lois de la Mécanique* ;
- ▶ propagation instantanée « *hors du temps* » (parabole de l'aveugle et du bâton, et exemple des éclipses de lune)
Devrions-nous comprendre « vitesse infinie » ? Non
- ▶ propagation « plus aisée » dans les milieux denses (eau, verre).
*Devrions-nous comprendre « plus rapide »
i.e. une vitesse « plus grande que l'infini » ?*

Non à nouveau !

Les lunes de Jupiter et le problème des longitudes

- ▶ les lunes de Jupiter (Galilée, 1610) → une solution potentielle au problème des longitudes :
 - une horloge en plein ciel!*
 - pratiquement inutilisable en mer, mais excellente à terre.
- ▶ d'où une *intense activité* pour construire des éphémérides précises des lunes de Jupiter.

Schéma de Römer

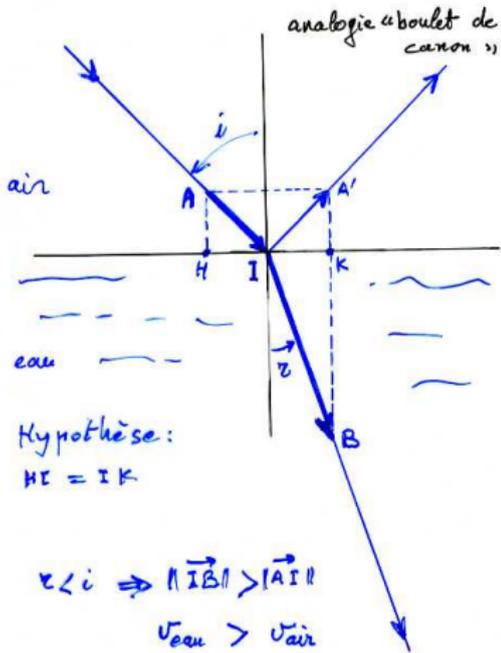


Journal des sçavans, 7 décembre 1676

Ondes ou corpuscules ?

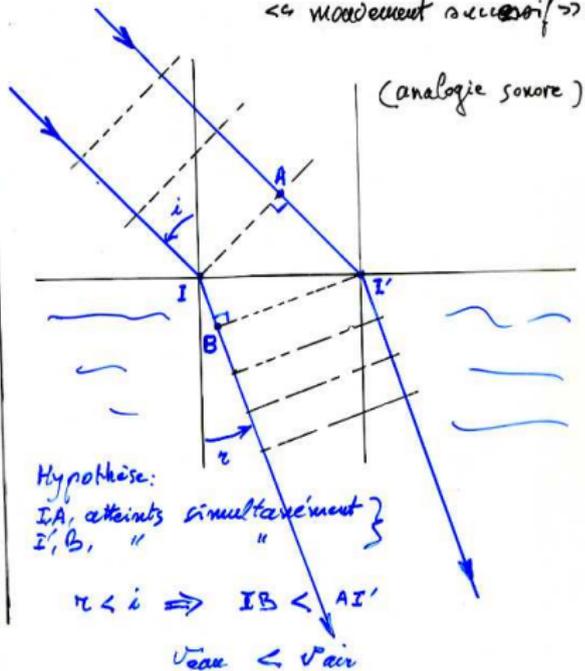
CORPUSCULES « à la Newton »

Théorie « de l'émission »



ONDES « à la Huygens »

Théorie ondulatoire ou de
 « mouvement successif »



Ondes ou particules ?

Un « corps » ou une « ondulation » ?

- ▶ **Foucault, 1850** : comparaison *qualitative* de la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau. Et pourquoi ?

- ▶ **Arago, 1838** :

« Le système d'expériences ... tranchera mathématiquement ... une des questions les plus grandes et les plus débattues de la Philosophie naturelle. »

- ▶ **Quelle si importante question ? :**

*« L'image supérieure est-elle moins avancée que celle d'en-bas ? Paraît-elle à sa gauche ? **La lumière est un corps.** Le contraire a-t-il lieu ? L'image supérieure se montre-t-elle à droite ? **La lumière est une ondulation.** »*

- ▶ **Conclusion de Foucault :**

*« La conclusion dernière de ce travail consiste donc à déclarer le **système de l'émission incompatible avec la réalité des faits.** »*

XIX^e siècle : décider entre les deux
principaux modèles de la lumière.

L'expérience de Léon Foucault de 1850

Une expérience « cruciale » ??

Héliostat de Silbermann



Ce type d'héliostat a été utilisé par Foucault pour ses expériences de 1850 et 1862.

Pourquoi est-ce si important ?

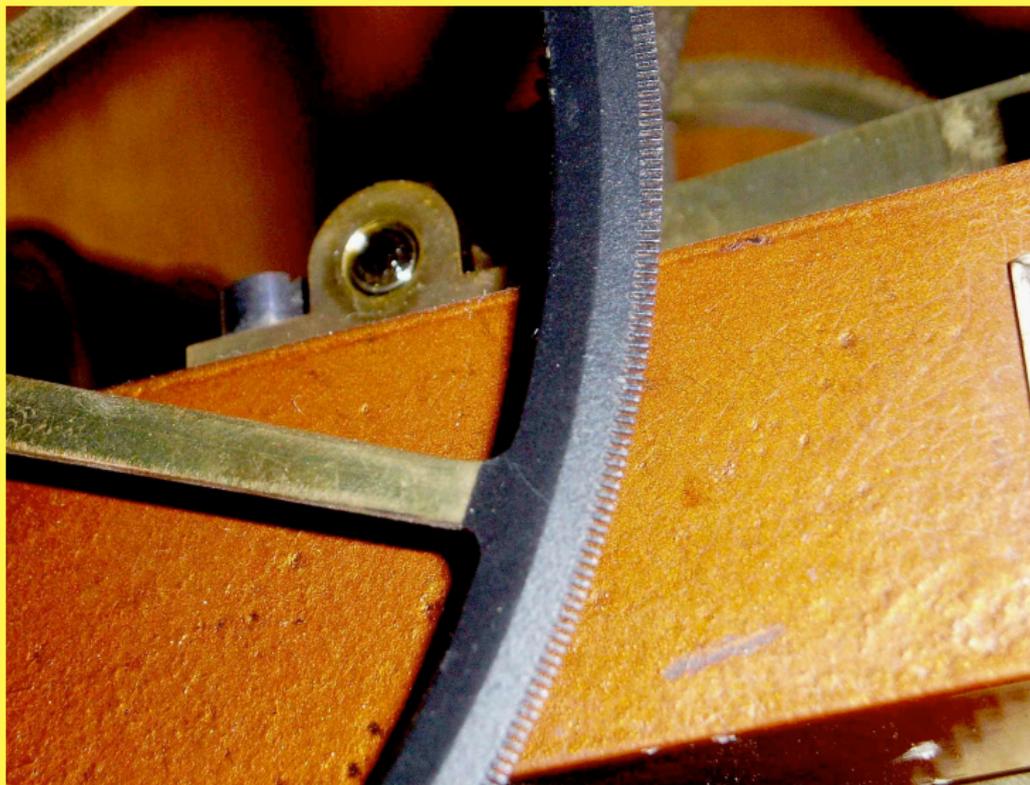
- ▶ la non-observation des *parallaxes stellaires* a longtemps été un argument contre le mouvement orbital de la Terre.
- ▶ la première parallaxe stellaire (*61-Cygni*) est mesurée par Bessel en 1838 : 0,31" ;
- ▶ la base est un diamètre de l'orbite terrestre : 300 millions de kilomètres ou 2 u.a. D'où l'importance d'une détermination précise de l'u.a., jusque-là déterminée à partir des parallaxes planétaires.
- ▶ les distances stellaires deviennent *indépendantes de la figure et des dimensions de la Terre* :
 - « un gigantesque saut virtuel dans l'espace ! »

Appareil de Fizeau (1849)



Appareil original (Musée de l'École polytechnique)
(la « roue dentée » est la roue de couleur sombre sur la droite de l'appareil.)

Appareil de Fizeau : détail de la roue dentée



Diamètre : 15,4 cm ; nombre de dents : 720 ; intervalle inter-dents : 0,3 mm.

Lampe et lumière de Drummond



Manuscrit de Fizeau : détail du 9 juillet 1849

9 juillet		26,8			
temps brutes	13,5	25,6			
ou report observé	mojeune de l'observateur	26			
avec quelque précision	- déduction 5,8	27,3			
que le maximum	- rapporté 21,2	24,4			
		27			
		26			
		mojeune = 26,21			
		sur 7 obs.			
mojeune des observations	sur 9 observations	mojeune des 10 observations	mojeune des 9 obs.		
de deux jours	= 12,61	= 25,785	= 37,625		
vitesse de la lumière en mille Kilomètres	$V_1 = 313,55$	$V_2 = 320,53$	$V_3 = 311,83$	312,31	mojeune de $V_1, V_2, V_3 = 312,69$
ou heures 225 ans	70565	72119	70562	70270	mojeune de $2V_1, V_2, V_3 = 315,3$
				70270	mojeune de $V_1, V_2, V_3 = 310948$

En bas : les trois résultats pour la vitesse de la lumière et l'hésitation entre 312 000 et 315 000 km/s.

La mesure de Fizeau de 1849 : les motivations

- ▶ **Arago, 1849** : (à l'Académie, après la mesure de Fizeau)
*« En répétant ces observations avec des appareils mécaniquement plus parfaits, on pourra un jour, sans sortir de Paris et de sa banlieue, trouver cette **parallaxe du Soleil** qui, vers le milieu du siècle dernier, donna lieu à des voyages si longs, si lointains, si pénibles, et à tant de dépenses. »*
- ▶ **De quoi s'agit-il ?** Réponse dans le titre du compte-rendu de Foucault à l'Académie des Sciences, en 1862 :
*« Détermination expérimentale de la vitesse de la lumière ; **parallaxe du Soleil** »*

Foucault-1862 : conception de la turbine, par L.D. Girard

« C'est sur ce principe que j'ai fait le tracé des aubes de la petite turbine de M. Léon Foucault, et ses nouvelles expériences . . . ont montré avec quelle régularité le petit moteur à veine d'air moulée entraînait le miroir dans son mouvement de rotation, et cela avec une pression d'air très-faible due au bon emploi du fluide moteur.

. . . cette petite turbine à air a environ 20 millimètres de diamètre, tandis que celles [à eau] exécutées à la Haye-Descartes ont un diamètre de 4^m,500 ou sont deux cent vingt-cinq fois plus grandes. Malgré cette grande différence, le nouveau principe de l'action du fluide moteur a été réalisé aussi bien à l'une qu'à l'autre ».

Girard, L.D. : 1863, « Nouveau mode d'action de l'eau motrice, et réalisation de très-grands siphons », *C.R. hebdomadaire Acad. Sci.*, **56**, 258-260.

Finalement :

- ▶ 16 trous d'injection au lieu de 2 : gain d'un facteur 8 ;
- ▶ aubes parfaitement adaptées ;
- ▶ air à 293 K au lieu de vapeur d'eau à 373 K : facteur 2 ;

permettent de fonctionner avec une pression de 30 cm de colonne d'eau au lieu de 1/2 atmosphère de vapeur d'eau (soit 5 m d'eau), et de façon beaucoup plus régulière.

L'héritage de Fizeau et Foucault

- ▶ Michelson affine la méthode du miroir tournant de Foucault en 1927 : $299\,796 \text{ km/s}$, valeur de référence pendant 20 ans.
- ▶ important : « c » devient constante universelle, indépendante du mouvement de la source comme de l'observateur.
- ▶ 1983 : par convention internationale,

$$c = 299\,792,458 \text{ km/s}$$

Désormais, on mesure le mètre !

Principe du miroir tournant, version pédagogique moderne

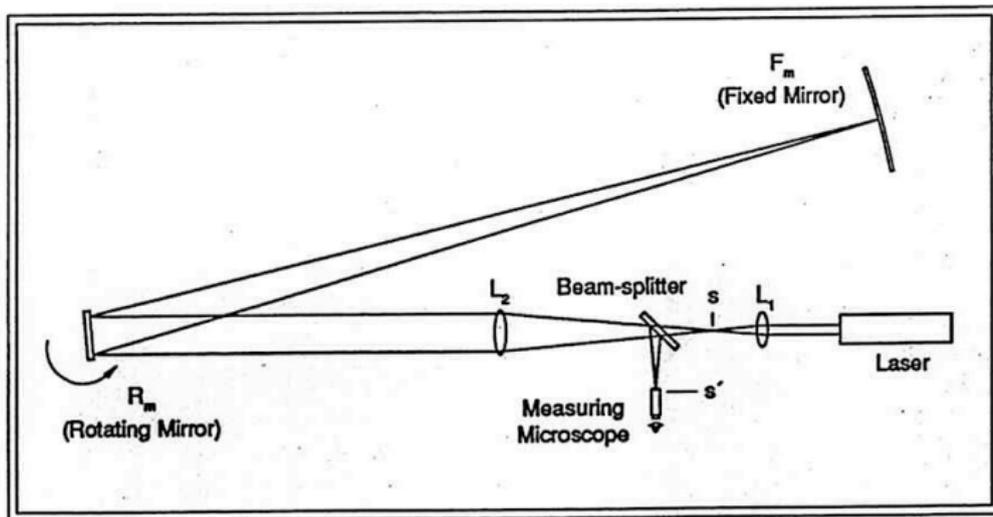
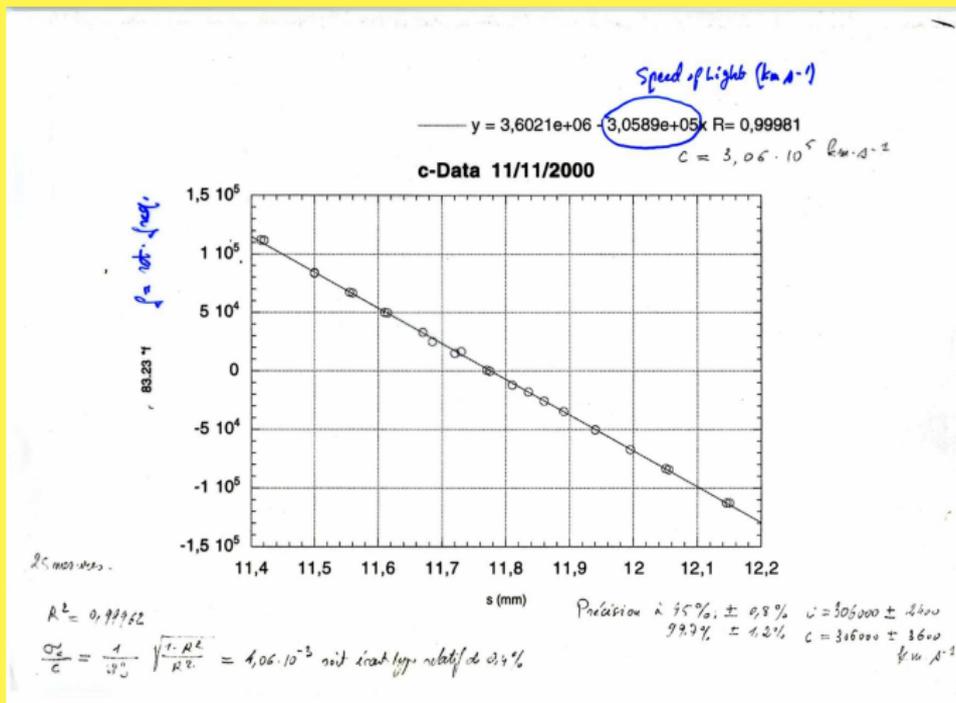


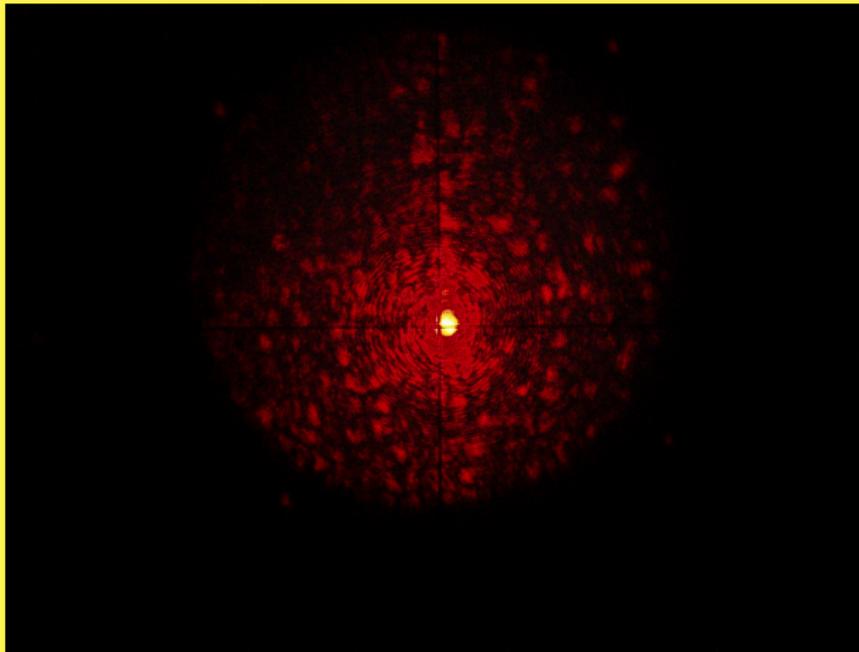
Schéma du montage moderne utilisé en enseignement
(modèle PASCO)

Mesure de c « à la Foucault » à la faculté des sciences d'Orsay



(la pente de la droite donne la vitesse de la lumière)

Ce qu'on voit dans le microscope



Lorsque le miroir tourne, le spot subit un déplacement vers le haut de la figure (ou vers le bas) proportionnel à la vitesse de rotation.

À 1000 Hz, le déplacement réel est d'environ 0,28 mm, ce qui représente une part importante du champ du microscope.

References (1)

-  Arago, F. : 1850, « Note sur le système d'expériences proposé en 1838 pour prononcer définitivement entre la théorie des ondes et la théorie de l'émission », *C.R. hebd. Acad. Sci.*, **30**, 489-495.
-  Bradley, J. : 1728, « An account of a new discovered motion of the fixed stars » (« Rapport sur la découverte d'un nouveau mouvement des étoiles fixes »), *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **35**, 637-660.
-  Descartes, R. : 1897-1913, *Oeuvres*, Ch. Adams et R. Tannery (edts), Paris, Léopold Cerf, 13 vol. ; 1964-1974, nouvelle édition complétée, Paris, Vrin-CNRS, 11 vol.
-  Fizeau, H. : 1849, « Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière », *C.R. hebd. Acad. Sci.*, **29** , 90-94 et 132.

References (2)

-  Foucault, L. : 1850, « Méthode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et dans les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau. Projet d'expérience sur la vitesse de propagation du calorique rayonnant », *C.R. hebd. Acad. Sci.*, **30**, 551-560.
-  Foucault, L. : 1854, « Sur les vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau », *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3^e série, t. XLI, 129-164.
-  Foucault, L. : 1862, « Détermination expérimentale de la vitesse de la lumière ; parallaxe du Soleil », *C.R. hebd. Acad. Sci.*, **55**, 501-503.
-  Foucault, L. : 1862, « Détermination expérimentale de la vitesse de la lumière ; description des appareils », *C.R. hebd. Acad. Sci.*, **55**, 792-796.
-  Foucault, L. : 1878, *Recueil des travaux scientifiques de Léon Foucault*, édition posthume publiée par Mme Vve Foucault, sa mère, avec la collaboration de C.M. Gariel, Paris, Gauthier-Villars.

References (3)

-  Galilei, G., dit Galilée : 1638, *Discours concernant deux sciences nouvelles*, ; 1890-1906 Firenze, Edizione nazionale, A. Favaro (ed.), t. VIII, p. 87-89 ; 1995, traduction française M. Clavelin, seconde édition, PUF, Paris, p. 37-39.
-  Huygens, C. : 1690, *Traité de la Lumière*, Leyde ; 2000, ré-édition Dunod, Paris, p. 54-60.
-  Rashed, R. : 1978, « Lumière et vision : l'application des mathématiques dans l'Optique d'Ibn al-Haytham », *in* Taton R. (dir.), 1978 : *Roemer et la vitesse de la lumière*, Paris, Vrin, p. 19-44.
-  Römer, O. : 1676, « Démonstration touchant le mouvement de la lumière trouvée par M. Römer de l'Académie royale des sciences », *Journal des sçavans*, Paris, 7 décembre 1676, 233-236.
-  Tobin, W. : 2002, *Léon Foucault* (adaptation française par J. Lequeux), EDP-sciences.

Descartes (1596-1650) : parabole de l'aveugle et du bâton

ceux qui, étant nés aveugles, s'en sont servis ^(du bâton) toute leur vie, et vous l'y trouverez si parfaite et si exacte qu'on pourrait quasi dire qu'ils voient des mains, ou que leur bâton est l'organe de quelque sixième sens qui leur a été donné au défaut de la vue. Et pour tirer une comparaison de ceci, je désire que vous pensiez que la lumière n'est autre chose, dans les corps qu'on nomme lumineux, qu'un certain mouvement, ou une action fort prompte et fort vive, qui passe vers nos yeux, par l'entremise de l'air et des autres corps transparents, en même façon que le mouvement ou la résistance des corps que rencontre cet aveugle passe vers sa main par l'entremise de son bâton. Ce qui vous empêchera d'abord de trouver étrange que cette lumière puisse étendre ses rayons en un instant depuis le soleil jusques à nous : car vous savez que l'action dont on meut l'un des bouts d'un bâton doit ainsi passer en un instant jusques à l'autre, et qu'elle y devrait passer en même sorte encore qu'il y aurait plus de distance qu'il y en a depuis la terre jusques aux cieux.

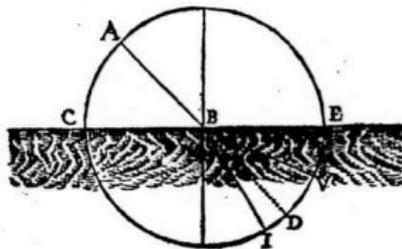
En suite de quoi vous aurez occasion de juger qu'il n'est pas besoin de supposer qu'il passe quelque chose de matériel depuis les objets jusques à nos yeux, pour nous faire voir les couleurs et la lumière, ni même qu'il y ait rien en ces objets qui

Descartes : la réfraction

Mais peut-être vous étonnerez-vous, en faisant ces expériences, de trouver que les rayons de la lumière s'inclinent plus dans l'air que dans l'eau, sur les superficies où se fait leur réfraction,

et encore plus dans l'eau que dans le verre, tout au contraire d'une balle qui s'incline davantage dans l'eau que dans l'air, et ne peut aucunement passer dans le verre. (..). En sorte que, d'autant

que les petites parties d'un corps transparent sont plus dures et plus fermes, d'autant laissent-elles passer la lumière plus aisément : car cette lumière n'en doit pas chasser aucunes hors de leurs places, ainsi qu'une balle en doit chasser de celles de l'eau, pour trouver passage parmi elles.



La lumière « passe plus aisément » dans les milieux denses.

Descartes : pas de vitesse infinie !

Descartes réfute le 16 octobre 1639 auprès de Mersenne une expression éminemment fâcheuse de Mydorge : "Je puis seulement dire qu'il implique contradiction qu'il y ait une vitesse infinie dans la nature,

.../...

mais la critique vaut évidemment, avec autant de force, contre quiconque interpréterait les énoncés cartésiens concernant la transmission du *lumen* comme significatifs d'une vitesse infinie. La vitesse infinie efface toute distinction du point et de la ligne ; or le *lumen* doit obéir à la *succession* spatiale, donc à la distinction susdite ; donc il serait contradictoire de parler de vitesse infinie du *lumen*. Tel est en définitive le syllogisme que révèle la correspondance de Descartes.

P. Costabel in «*Rococo et la vitesse de la lumière*»
Paris, Vrin, 1978, p 88-91

Le texte de Galilée

Discours sur deux sciences nouvelles (1638)

« SALVIATI — Le caractère peu concluant de ces observations et d'autres semblables me conduisit autrefois à chercher un moyen pour établir, en toute certitude, si l'illumination, c'est à dire la propagation de la lumière, est vraiment instantanée; car le mouvement déjà très rapide du son nous assure que la vitesse de la lumière ne peut être que très élevée; voici donc l'expérience que j'avais imaginée. Deux personnes prennent chacune une chandelle qu'elles placent dans une lanterne ou tout autre abri, de façon à pouvoir la masquer et la découvrir à la vue de l'autre par interposition de de la main; se tenant face à face, à quelques coudées de distance, chacun s'exerce à dévoiler et à dissimuler sa lumière à la vue de son compagnon, découvrant la sienne propre dès qu'il aperçoit celle de l'autre. Après quelques essais faits à tour de rôle, les réactions sont assez précises pour qu'au geste de l'un démasquant sa lumière corresponde immédiatement, sans décalage sensible, un geste identique de l'autre, et qu'au moment où le premier dévoile sa lumière, il voit apparaître celle du second. L'habitude étant ainsi acquise sur une courte distance, nos deux compagnons s'éloignent de deux ou trois milles avec deux lanternes semblables, et, accomplissant de nuit la même expérience, observeront attentivement si les ouvertures et les occultations ont lieu de la même manière que de plus près; auquel cas, on pourra conclure avec certitude que la propagation de la lumière est instantanée: car si elle exigeait un certain temps, à une distance de trois milles, qui en font en réalité six, si l'on considère le trajet de chaque lumière, le délai devrait être parfaitement observable. (...)

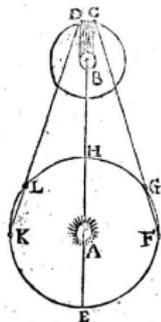
SAGREDO — L'expérience me semble aussi sûre qu'ingénieuse dans sa conception. Mais dites-moi, quelles conclusions en avez-vous retirées?

SALVIATI — À vrai dire, je ne l'ai exécutée que sur de petites distances, inférieures à un mille, et je n'ai pas pu décider, pour cette raison, si l'apparition de la lumière opposée est instantanée; si elle ne l'est pas, elle est du moins extrêmement rapide, quasi immédiate, et pour le coup je la comparerais au mouvement de l'éclair, tel que nous le percevons entre les nuées, à une distance de huit ou dix milles; de l'éclair, en effet, nous distinguons le début (je dirais la tête et la source) en un lieu déterminé entre les nuages, avant qu'il ne se propage immédiatement après dans les parties environnantes; j'en déduis que son mouvement occupe un certain temps, car si l'illumination était instantanée et non progressive, je ne crois pas que l'on pourrait distinguer son origine (son centre, si vous voulez) des points extrêmes. »

*DEMONSTRATION TOUCHANT LE
mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer de
l'Academie Royale des Sciences.*

IL y a long-temps que les Philosophes font en peine de décider par quelque experience, si l'action de la lumiere se porte dans un instant à quelque distance que ce soit, ou si elle demande du temps. Mr Römer de l'Academie Royale des Sciences s'est avisé d'un moyen tiré des observations du premier satellite de Jupiter, par lequel il démontre que pour une distance d'environ 3000 lieues, telle qu'est à peu près la grandeur du diamètre de la terre, la lumiere n'a pas besoin d'u-

ne seconde de temps.



Soit A le Soleil, B Jupiter, C le premier Satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter pour en sortir en D, & soit EFG HKL la Terre placée à diverses distances de Jupiter.

Or supposé que la terre estant en L vers la seconde Quadrature de Jupiter, ait veu le premier Satellite, lors de son émergence ou sortie de l'ombre en D; & qu'en suite environ 42. heures & demie a-

prés, sçavoir après une revolution de ce Satellite, la terre se trouvant en K, le voye de retour en D: Il est manifeste que si la lumiere demande du temps pour traverser l'intervalle LK, le Satellite sera veu plus tard de retour en D, qu'il n'auroit esté si la terre estoit demeurée en K, de sorte que la revolution de ce Satellite, ainsi observée par les Emergences, sera retardée. d'autant de temps que la lumiere en aura employé à passer de L en K, & qu'au contraire dans l'autre Quadrature FG, où la terre en s'approchant, va au devant de la lumiere, les revolutions des Immergions paroistront autant accourcies, que celles des Emergences avoient paru alongées. Et parce qu'en 47. heures & demy, que le Satellite employe à peu près à faire chaque revolution, la distance entre la Terre & Jupiter dans l'un & l'autre Quadrature varie tout au moins de 210. diametres de la

Terre, il s'ensuit que si pour la valeur de chaque diametre de la Terre, il falloit une seconde de temps, la lumiere employeroit $3\frac{1}{2}$ min. pour chacú des intervalles GF, KL, ce qui cauferoit une differéce de prés d'un demy quart d'heure entre deux revolutions du premier Satellite, dont l'une auroit esté observée en FG, & l'autre en KL, au lieu qu'on n'y remarque aucune difference sensible.

Il ne s'ensuit pas pourtant que la lumiere ne demande aucun-temps : car apres avoir examiné la chose de plus prés, il a trouvé que ce qui n'étoit pas sensible en deux revolutions, devenoit tres-considerable à l'égard de plusieurs prises ensemble, & que par exemple 40 revolutions observées du costé F, estoient sensiblement plus courtes, que 40. autres observées de l'autre côté en quelque endroit du Zodiaque que Jupiter se soit rencontré; & ce à raison de 22. pour tout l'intervalle H E, qui est le double de celuy qu'il y a d'icy au soleil.

La necessité de cette nouvelle Equation du retardement de la lumiere, est établie par toutes les observations qui ont esté faites à l'Academie Royale, & à l'Observatoire depuis 8. ans, & nouvellement elle a esté confirmée par l'Emersion du premier Satellite observée à Paris le 9. Novembre dernier à 5 h. 35. 45. du soir, 10. minutes plus tard qu'on ne l'eût deü attendre, en la déduisant de celles qui avoient esté observées au mois d'Aoust, lors que la terre estoit beaucoup plus proche de Jupiter; ce que Mr Römer avoit predit à l'Acade-

mie dès le commencement de Septembre.

Mais pour oster tout lieu de douter que cette inégalité soit causée par le retardement de la lumiere, il demontre qu'elle ne peut venir d'aucune excentricité, ou autre cause de celles qu'on apporte ordinairement, pour expliquer les irregularitez de la Lune & des autres Planetes : bien que néanmoins il se soit aperçu que le premier Satellite de Jupiter estoit excentrique, & que dailleurs ses revolutions estoient avancées ou retardées à mesure que Jupiter s'aprochoit ou s'éloignoit du soleil, & même que les revolutions du premier Mobile estoient inégales; sans toutesfois que ces trois dernieres causes d'inégalité empêchent que la premiere ne soit manifeste.