

La découverte de la vitesse finie de la lumière par Roemer – Aspects historiques

Martine Bobin (Les Ulis, 1994)

Le but de ce petit travail de compilation est de restituer dans son contexte historique l'expérience fondamentale de Roemer (1676), d'essayer de montrer l'importance des présupposés théoriques du scientifique dans son interprétation d'une série d'observations et de mesures, d'explicitier le conflit qui a opposé J-D.Cassini à Roemer et d'indiquer les conséquences de cette découverte jusqu'à sa confirmation par Bradley en 1729.

1. La vitesse de la lumière avant 1676

11. Avant le XVII^{ème} siècle
12. Au XVII^{ème} siècle

2. La découverte de Roemer : le contexte

21. L'Observatoire de Paris à l'époque de Roemer
22. La détermination des longitudes à l'aide des satellites de Jupiter
23. Les mesures de Cassini et de Roemer

3. La polémique Cassini-Roemer

31. L'argumentation de Roemer
32. Les objections de Cassini
33. Deux contributions différentes

4. Les conséquences de la découverte de Roemer

41. Huygens
42. En Angleterre

REMARQUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. **Roemer et la vitesse de la lumière**, table ronde du CNRS, Paris 16 et 17 juin 1976 ; édition Vrin, 1978. [Cet ouvrage rassemble les communications présentées à ce colloque organisé à l'occasion du tricentenaire de la mise en évidence de la vitesse finie de la lumière par Roemer. Il s'agit d'un travail très approfondi de recherche en histoire des sciences qui est une référence incontournable pour qui veut étudier ce sujet.]

2. **La lumière** par Bernard Maitte, collection Points Sciences, édition Seuil 1981.

1. LA VITESSE DE LA LUMIERE AVANT 1676

Jusqu'au XVII^{ème} siècle (invention de la lunette astronomique et de l'horloge à pendule), on doit se contenter de l'oeil nu pour observer le ciel et on ne dispose pas

d'instrument capable de mesurer convenablement des durées inférieures à la seconde.

11. Avant le XVII^{ème} siècle

111. Dans l'Antiquité - S'efforçant surtout de résoudre les problèmes liés à la vision ("pourquoi et comment voit-on ?") les Anciens n'ont pas centré leur réflexion sur la lumière (sa nature, son mode de propagation, sa vitesse). Développant une argumentation tirée à la fois de l'observation courante et de la réflexion philosophique, l'immense majorité des auteurs anciens pense que la lumière se manifeste instantanément. Etablie solidement à partir du IV^{ème} siècle avant J-C, la conception instantanéiste de la lumière ne fut jamais remise en cause jusqu'à la fin de l'Antiquité. Cependant des divergences profondes existent encore concernant la signification de cette instantanéité, conséquences d'un désaccord sur la nature de l'agent produisant la vision (mouvement local de quelque chose se déplaçant à une vitesse infinie ou modification instantanée du milieu).

112. Dans le monde arabe - La contribution des Arabes en optique est fondamentale, grâce surtout à Al-Kindi (mort en 873) et à Ibn-al-Haytam (965-1039) plus connu sous le nom d'Alhazen. Celui-ci est le premier à systématiser la preuve expérimentale ; il propose, à l'aide de nombreuses observations et expériences menées dans un ordre progressif, un modèle mécanique simple : la lumière est matérielle, elle existe indépendamment de et extérieurement à la vision ("que l'oeil soit absent ou présent"). Elle se propage en ligne droite dans un milieu transparent et dans toutes les directions. Ces droites virtuelles que forme la lumière sont les "rayons lumineux". Assuré de la matérialité de l'agent lumineux, Ibn-al-Haytam suppose qu'il se meut à une très grande vitesse mais finie. "(Ce qui va) de l'ouverture au corps qui lui fait face n'existe que dans un temps même si cela est dissimulé au sens". Le mouvement rectiligne dans un milieu transparent est réfléchi ou dévié selon certaines règles si le milieu change de transparence et la vitesse de propagation change avec le changement de milieu.

113. Dans le moyen-âge chrétien - L'aube du moyen âge est fortement imprégnée des traditions de la pensée grecque, mais du XI^{ème} au XIII^{ème} siècle, les expéditions orientales font connaître les oeuvres arabes et induisent le développement de la science expérimentale et des techniques. L'optique expérimentale est développée par Robert Grossetête (1168-1253), Roger Bacon (1214-1294), Thierry de Freiberg (mort en 1311) et Witelo (1230-1300) : ils étudient la réflexion, la réfraction (explication de l'arc-en-ciel) et les lentilles de verre. Mais en ce qui concerne la nature et la propagation de la lumière, il n'y a pas de progrès notable. Grossetête explique que la propagation rectiligne est due à une série de vagues mettant en vibration la forme corporelle première qu'est la lumière. Bacon ajoute que le son résulte aussi d'ondes allant beaucoup moins vite que celles de la lumière puisque la vision de l'éclair précède le bruit du tonnerre.

Aux XIV^{ème} et XV^{ème} siècles, la vie intellectuelle stagne et la culture régresse. Le

XVI ème siècle est une époque d'imitation de l'Antiquité, loin des connaissances acquises au cours du moyen-âge.

12. Au XVII ème siècle

Au XVII ème siècle, l'hypothèse de l'instantanéité de la manifestation de la lumière a de nombreux défenseurs mais on commence à se référer à l'expérience pour essayer de trancher le débat.

121. Kepler (1571-1630), dans ses "Paralipomènes à Vitellion", ne dissocie pas le problème de la propagation de la lumière de celui de sa nature (1604) ; la lumière est une "espèce" immatérielle qui émane d'une source sous forme de flux. Elle se diffuse sphériquement par rayons rectilignes et se propage jusqu'à l'infini en un instant. Elle varie d'intensité en proportion inverse du carré de la distance.

122. Galilée (1564-1642) propose dans les "Discorsi..." l'expérience de la lanterne (Cf annexe 1), expérience fort grossière qui prouve qu'il évalue mal l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière mais le problème est posé.

123. Descartes (1596-1650) conçoit une meilleure approche en considérant des distances astronomiques à propos des éclipses de Lune (Cf annexe 2). En 1638, il écrit à Mersenne : *"l'expérience de Galilée pour savoir si la lumière se transmet en un instant est inutile car les éclipses de Lune se rapportant assez exactement au calcul qu'on en fait le prouvent incomparablement mieux que tout ce qu'on saurait éprouver sur Terre."*

124. Fermat (1601-1665) pose que la lumière obéit à un "principe de moindre temps" choisissant toujours la trajectoire la plus courte en temps. Le milieu autorisant la plus grande vitesse est le vide. Il écrit dans une lettre du 1er janvier 1662 : *"Si vous persistez toujours à n'accorder pas un mouvement successif à la lumière et à soutenir qu'il se fait en un instant..."*

125. Grimaldi (1618-1663) pense que la lumière est un fluide matériel, cohérent, subtil, animé d'une très grande vitesse ; ses ondulations stimulent la sensation de couleur. Elle peut se réfléchir en rebondissant sur une surface, se réfracter en heurtant des obstacles de dimensions équivalentes à celles du pinceau lumineux.

126. Huygens (1629-1695) se prononce dès 1672 en faveur d'une vitesse finie de la lumière. Dans le premier projet de sa "Dioptrique", il note, en 1673, : *"La lumière s'étend circulairement et non dans l'instant, au moins dans les corps ici-bas, car pour la lumière des*

astres, il n'est pas sans difficulté qu'elle ne serait pas instantanée."

Juste avant la découverte de Roemer, il existe donc des savants persuadés que la vitesse de la lumière est finie ; ils accueilleront donc favorablement toute mesure expérimentale allant dans ce sens.

2 . LA DECOUVERTE DE ROEMER : LE CONTEXTE

21. L'Observatoire de Paris à l'époque de Roemer

La création de l'Observatoire de Paris (1667) destiné à accueillir les astronomes de la toute nouvelle Académie Royale des Sciences a lieu à un moment où l'astronomie est dans une conjoncture particulièrement favorable :

- L'invention de l'horloge à pendule (Huygens 1657) et la mise au point d'un premier type d'horloge marine permettent d'envisager une amélioration sensible de la précision des mesures de temps.

- La réalisation des premiers micromètres à fil (Auzout 1666), le perfectionnement des grandes lunettes, l'adaptation des lunettes aux instruments de mesure angulaire permettent d'espérer des progrès spectaculaires dans les déterminations angulaires en même temps qu'un affinement important dans la précision des relevés de surface planétaire.

Avant 1670, les astronomes parisiens réussissent à mettre au point et à utiliser couramment un ensemble d'instruments et de techniques qui vont révolutionner l'astronomie d'observation. Au cours de la période 1667-1676, les astronomes de l'Observatoire de Paris dont l'activité est déterminante sont :

Jean Picard (1620-1682)

Adrien Auzout (1622-1691) jusqu'en 1668

Jean Dominique Cassini (1625-1712) après 1669

Jean Richer (1630-1696)

Olaüs Roemer (1644-1710) après 1672

Christiaan Huygens (1629-1695) (apport théorique)

22. La détermination des longitudes à l'aide des satellites de Jupiter

A la fin du XVI^{ème} siècle, faute d'un "garde temps" suffisamment précis et stable, la détermination des longitudes restait très grossière. Galilée eut l'idée d'utiliser les "astres médicés" comme indicateurs de temps : les mouvements des satellites de Jupiter sont quasiment circulaires et uniformes, leur période est assez courte et l'instant des éclipses (ou de l'occultation d'un satellite par la planète) est indépendant du lieu d'observation. Galilée ne

put mener à bien son projet, les instruments dont il disposaient n'étaient pas assez précis.

En 1668, Cassini publie les *Ephemerides Bononienses mediceorum syderum* où il expose la méthode de détermination des longitudes par l'observation simultanée d'une même éclipse à partir de deux méridiens différents. L'utilisation et le perfectionnement des tables de Cassini et l'emploi de l'horloge à pendule vont permettre la réalisation d'un vaste programme de détermination des longitudes. De nombreuses expéditions sont réalisées à cet effet par les astronomes de l'Observatoire de Paris : Méditerranée (1668-1669), Acadie (1670), Uraniborg (1671-1672), Cayenne (1672-1673), côtes de France (1672-1674).

En juillet 1671, Picard se rend à Copenhague et à Uraniborg afin de déterminer la différence de longitude entre l'Observatoire de Paris et celui, alors déjà disparu, de Tycho Brahé à Hveen afin d'utiliser les précieuses observations de ce dernier. Il est assisté dans son travail par le jeune astronome danois Olaüs Roemer. Pendant l'hiver 1671-72, les observations des éclipses de Io sont faites simultanément par Picard et Roemer à Uraniborg et par Cassini à Paris. Le soin des mesures (et aussi sans doute un heureux hasard) permet d'obtenir une très bonne valeur pour la différence de longitude entre Uraniborg et Paris. Picard rentre à Paris avec Roemer au cours de l'été 1672 et c'est à partir de ce moment-là que Roemer, logé à l'Observatoire, prend une part active au travail de l'Académie Royale des Sciences et continue avec Picard les observations des satellites de Jupiter.

23. Les mesures de Cassini et de Roemer

La détermination précise des positions des satellites présente d'énormes difficultés: Il faut tenir compte du fait que la révolution de Jupiter autour du Soleil n'est ni circulaire ni uniforme (première inégalité ayant une période de 12 ans environ), des inclinaisons par rapport au plan de l'écliptique des plans des orbites de Jupiter et des orbites des satellites, et enfin de l'équation du temps (les mesures étant faites en temps solaire vrai).

On sait aujourd'hui que d'autres inégalités sont dues à l'aplatissement de Jupiter, aux interactions entre les différents satellites et avec les planètes voisines (notamment Saturne). Malgré des méthodes sophistiquées, les tables actuelles qui tiennent compte de la vitesse de la lumière donnent une précision de l'ordre de la minute (elles sont calculées à partir de la méthode de Sampan (1910) améliorées en 1982 et publiées dans les *Ephémérides* du Bureau des Longitudes).

Le samedi 22 août 1676 (problème de date, 1674 ou 1675 ? on ne sait exactement, des documents ont été perdus et il reste des problèmes de déchiffrement), Cassini, dans une communication à l'Académie, déclare que "*cette seconde inégalité paraît venir de ce que la lumière emploie quelque temps à venir du satellite jusqu'à nous et qu'elle met environ dix à*

douze minutes pour parcourir un espace égal à un demi-diamètre de l'orbite terrestre." Cette affirmation est fondée sur plusieurs années d'observation de cette "seconde inégalité" présentée par les dates successives des éclipses de Io et qui dépend de la configuration Terre, Soleil, Jupiter.

En septembre 1676 (événement daté avec certitude), Roemer annonce à l'Académie que l'éclipse du premier satellite de Jupiter, prévue pour le 9 septembre suivant se produira avec exactement dix minutes de retard, ce qui fut confirmé par les observations. A la séance du 21 novembre 1676, Roemer expose sa théorie devant l'Académie. Le compte rendu de cette séance paraît dans le **Journal des Sçavans** du 7/12/ 1676 (Cf annexe 3).

Les deux explications données par Cassini et Roemer sont les mêmes mais alors que Cassini va non seulement changer d'avis mais contester les arguments de Roemer, et ce pendant de nombreuses années, Roemer va affirmer sa théorie en dépit de mesures imprécises et insuffisantes.

3. LA POLEMIQUE CASSINI-ROEMER

31. Roemer

A la lecture du mémoire de Roemer, on peut être surpris par la faiblesse de son argumentation (Cf le dernier paragraphe). Il n'existe pas d'article écrit par Roemer et faisant une synthèse des calculs de la vitesse de la lumière. Roemer écrivait peu et l'incendie de Copenhague en 1728 entraîna la perte de la plupart de ses registres d'observation et de ses manuscrits. Une lettre de Roemer à Huygens révèle que sa théorie du retardement de la lumière se fonde exclusivement sur des observations faites par Picard et lui-même. Un manuscrit de Roemer, trouvé en 1913 à la bibliothèque de l'Université de Copenhague et étudié par Kristine Meyer, contient une série d'observations des satellites de Jupiter entre 1668 et 1677 et quelques calculs. Ce document a permis de reconstituer l'analyse de Roemer et de vérifier ses calculs. Les résultats de Roemer pour la durée de parcours d'un demi-diamètre de l'orbite terrestre par la lumière fluctuent entre 9,6 et 12 minutes. Compte tenu des incertitudes des tables utilisées, la concordance entre la précision et l'observation des 10 minutes de retard pour le 9 novembre 1676 semble extraordinaire. K.Meyer écrit d'ailleurs : *il y a un grand écart entre cette valeur de 10 minutes et celle déduite des observations réalisées en 1671, 72 et 73.*"

Roemer semble s'être désintéressé du problème à partir de 1678 et ne plus y avoir travaillé. Delambre écrit, en 1821, dans son **Histoire de l'astronomie moderne** : *"Il est assez singulier que Roemer ait donné si peu de suite à cette recherche, qu'il n'ait pas cherché à mieux déterminer l'équation de la lumière du premier satellite et à montrer que cette équation était la même pour les quatre."*

32. Cassini

Deux objections sont avancées par Cassini et ses fils ainsi que par Maraldi (1665-1729). La première est que la correction due à la vitesse de la lumière ne supprime pas toutes les inégalités. La seconde est que cette hypothèse de la vitesse finie de la lumière ne s'accorde pas aux autres satellites de Jupiter.

Contrairement à Roemer, Cassini et Maraldi ont fait de très nombreuses observations. Cassini, dans son traité de 1693, **Les hypothèses et les tables des satellites de Jupiter réformées sur les nouvelles observations par M.Cassini**, insiste sur la nécessité de longues années d'observation avant d'en tirer des conclusions valables. Maraldi affirme en 1707 : *"Il paraît donc qu'il y a un grand nombre d'observations qui ne peuvent s'expliquer par le mouvement de la lumière quoiqu'il y en ait quelques unes qui lui paraissent favorables ; et par conséquent, cette hypothèse n'est pas suffisante pour expliquer la seconde inégalité des satellites."*

33. Deux contributions fort différentes

Les objectifs et les méthodes des deux savants, Roemer et Cassini, ne sont pas les mêmes. Roemer transforme en loi une hypothèse avancée par Cassini et ses mesures sont interprétées dans le but de démontrer la vitesse finie de la lumière. Cassini qui étudie en détail les mouvements des satellites de Jupiter essaie d'en comprendre toutes les inégalités. Il est extrêmement rigoureux et ne peut accepter une théorie que si elle est en accord avec les phénomènes observés et dans une très bonne approximation. A l'époque, les mesures sont insuffisamment précises pour conclure sans hésiter.

La découverte est reconnue à Roemer qui a fait preuve de plus de témérité que Cassini mais celui-ci, par sa méthode de travail, a permis de poser le problème de cette inégalité. L'hypothèse de Roemer a permis d'accepter plus facilement les théories de la lumière de Huygens et de Newton. On peut dire que chacun des deux savants a contribué à l'évolution des idées en ce qui concerne la vitesse de la lumière.

4. LES CONSEQUENCES DE LA DECOUVERTE DE ROEMER

41. Huygens

Le 16 septembre 1677, Huygens écrit à Roemer pour lui annoncer qu'il a lu la traduction anglaise de sa communication du 21 novembre 1676 devant l'Académie Royale des Sciences. Il reprend le raisonnement de Descartes sur les éclipses de Lune (Cf annexe 2) et cherche la limite inférieure de la vitesse de la lumière telle que l'angle θ soit inappréciable. La valeur limite de θ est 6 minutes d'arc et à cet angle correspond un temps de parcours de 10 secondes pour la distance Terre-Lune. Il en déduit que la vitesse de la lumière est cent mille fois celle du son (au moins).

En 1678 (présentation de son **Traité de la lumière** devant l'Académie des Sciences), il déclare : "*Mais ce que je n'employais que comme une hypothèse a reçu depuis peu grande apparence d'une vérité constante par l'ingénieuse démonstration de Monsieur Roemer... La vitesse de la lumière est plus de cent mille fois plus grande que celle du son ; ce qui pourtant est tout autre chose que d'être instantanée, puisqu'il y a la même différence que d'une chose finie à une chose infinie. Or le mouvement successif de la lumière étant confirmé de cette manière, il s'ensuit, comme j'ai déjà dit, qu'il s'étend par des ondes sphériques ainsi que le mouvement du son.*"

La découverte de Roemer a donc conforté Huygens dans son opinion d'une vitesse finie de la lumière nécessaire à sa théorie de la lumière.

42. En Angleterre

En juin 1677, (sept mois après la parution de l'article de Roemer dans le **Journal des Sçavans**), paraît dans les **Philosophical Transactions** de la Royal Society une traduction très fidèle du mémoire de Roemer. Flamsteed (1646-1719), "Astronomer Royal" depuis 1675 et installé à Greenwich depuis 1676, s'intéressait aux satellites de Jupiter depuis 1672 ; il s'intéressait en particulier aux distances des planètes au Soleil et à la Terre ainsi qu'aux elongations des satellites de Jupiter. Sa méthode, pour déterminer les longitudes, était l'utilisation du mouvement de la Lune. Il se mit à s'intéresser aux éclipses de Io après la découverte de Roemer.

En 1679, Roemer fait un séjour à Londres où il rencontre Hooke et Flamsteed. Celui-ci crut tout de suite à "l'équation du temps de Roemer" et, grâce à son influence, les savants anglais - Hooke mis à part - furent favorables à cette découverte. En 1684, Flamsteed écrit à Newton en lui parlant de la "Roemer's equation of light" et de son influence sur le calcul des éphémérides des satellites de Jupiter. Dans les **Principia** (1687), Newton affirme qu'il est maintenant certain que la lumière a une vitesse finie et que cela est confirmé par les observations de "plusieurs astronomes".

En 1694, Halley (1656-1742) écrit un compte rendu critique des tables du premier satellite de Jupiter publiées par J-D. Cassini ; il fait remarquer que celui-ci n'admet pas dans ses calculs "l'hypothèse ingénieuse de la vitesse finie de la lumière". Halley, grâce à une utilisation judicieuse des observations de Io, parvient à une valeur $\tau = 8,5$ minutes de la durée mise par la lumière pour parcourir la distance Soleil-Terre.

Au début du XVIII^{ème} siècle, on rencontre de plus en plus de savants anglais qui sont convaincus que la lumière a une vitesse finie et que Roemer l'a prouvé. Il n'apparaît donc pas nécessaire d'en chercher une autre preuve.

ANNEXE 1 - L'expérience de la lanterne par Galilée (1633)

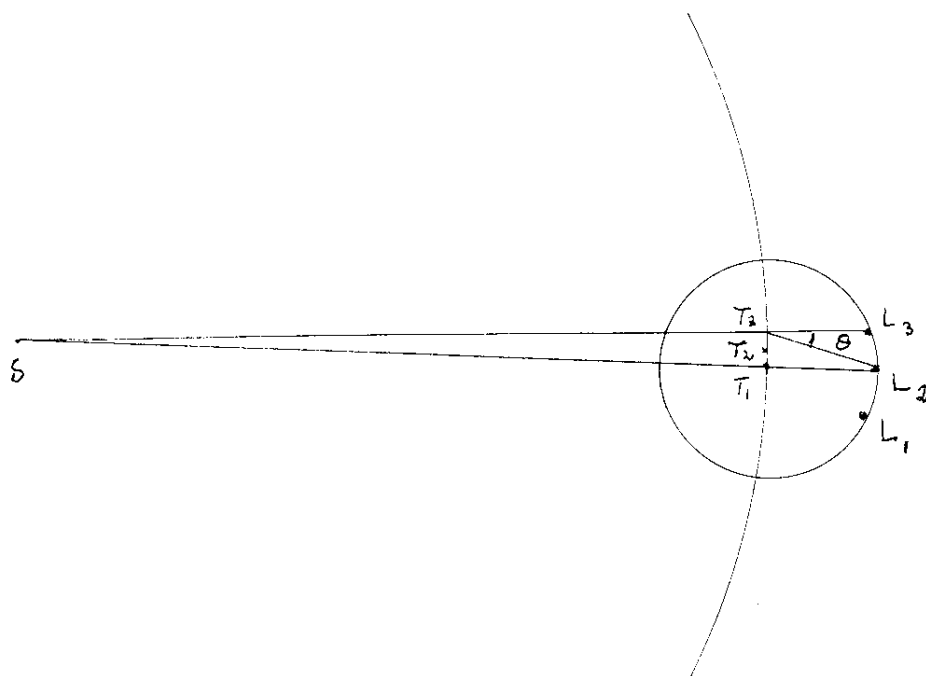
Deux hommes se placent face à face ; l'un démasque la lanterne qu'il porte ; dès qu'il en perçoit la lumière, l'autre démasque la sienne à son tour. Le premier observateur peut évaluer l'intervalle de temps séparant l'instant où il a ouvert sa lanterne de celui où il a vu la lumière issue de la seconde. Les deux hommes se placent ensuite à grande distance l'un de l'autre ; si l'intervalle de temps mesuré est plus long, on peut en conclure que la vitesse de la lumière est finie

ANNEXE 2 - L'expérience des éclipses de Lune par Descartes (1637)

Lorsque la Lune est éclipsée par la Terre, S,T et L sont alignés.

Si la lumière demande une heure pour aller de la Terre à la Lune, la Terre passant en T_1 , l'ombre produite n'arrivera en L_2 qu'une heure après. C'est en L_2 que la Lune sera obscurcie mais ce phénomène ne sera vu de la Terre qu'une heure après. Pendant ces deux heures, la Terre sera parvenue en T_3 et de la Terre on verra la Lune en L_2 (bien que celle-ci soit partie de cette position depuis une heure et se trouve en L_3). On devrait donc pouvoir mesurer l'angle θ .

Or l'observation montre que la Lune éclipsée apparaît toujours alignée avec le Soleil et la Terre?



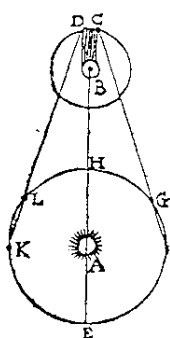
ANNEXE 3 - Mémoire de Roemer

paru dans le **Journal des Sçavans** du lundi 7 décembre 1676

Ce texte est bien de Roemer bien que la forme puisse laisser entendre le contraire ; les communications des savants devant l'Académie des Sciences étaient souvent rédigées par un secrétaire.

**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 sont 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'une 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 EFGHKL 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 émerision ou sortie de l'ombre en D ; & qu'en suite environ 42. heures & demie après, 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 Emersions, 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 Immerisions paroistront autant accourcies, que celles des Emersions avoient paru alongées. Et parce qu'en 42 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'en suit que si pour la valeur de chaque diamètre de la Terre, il faoit une seconde de temps, la lumiere employeroit 32. min. pour chacun des intervalles GF, KL, ce qui causeroit une différence de près 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'en suit pas pourtant que la lumiere ne demande aucun temps : car apres avoir examiné la chose de plus près, 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 HE, qui est le double de celui 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 predict à l'Academie dès le commencement de Septembre.

Mais pour oster tout lieu de douter que cette inégalité soit causée par le retardement de la lumiere, il démontre 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 neanmoins il se soit aperceu que le premier Satellite de Jupiter estoit excentrique, & que dailleurs ses revolutions estoient avancées ou retardées à mesure que Jupiter s'approchoit 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.

Remarque : au XVII^{ème} siècle, les termes d'émersions et d'immersions étaient employés pour les fins et les débuts d'éclipses.

ANNEXE 4 - L'aberration de la lumière

De décembre 1725 à décembre 1726, l'astronome anglais James Bradley (1692-1762) cherchait à mettre en évidence l'effet de parallaxe produit par le mouvement orbital de la Terre autour du Soleil sur les étoiles proches. Pour cela il observait l'étoile γ du Dragon (étoile relativement brillante qui passe quotidiennement presque au zénith de Londres ce qui présente le double avantage d'observations exemptes du phénomène de réfraction atmosphérique et d'un repérage précis de l'étoile par sa distance zénithale). Ses observations (faites avec l'astronome amateur S.Molyneux) mettent en évidence un déplacement de l'étoile décalé de trois mois par rapport au déplacement attendu d'un déplacement de parallaxe (qui, lui, est en phase avec le Soleil). En recommençant avec d'autres étoiles, il s'aperçoit que toutes subissent un déplacement annuel apparent dont l'amplitude par rapport à une position moyenne est 20,5".

En 1728, il donne l'explication : ce déplacement n'est pas un effet de parallaxe ; le changement apparent de la direction de l'étoile est dû à la composition de deux vitesses, celle de la lumière qui provient de l'étoile et celle du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil. L'espace étant rapporté au Soleil et à des directions d'étoiles, une pluie de

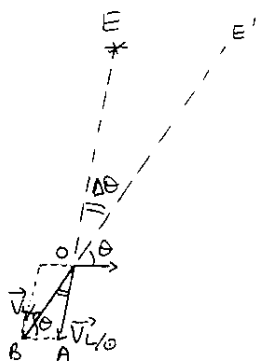


fig 1

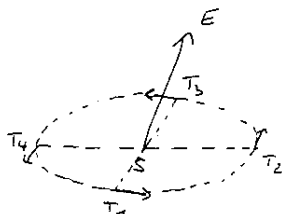


fig 2

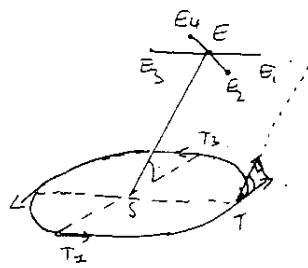


fig 3

photons provient de l'étoile, "tombe" sur l'écliptique avec une vitesse $V_{L/O} = c$; la Terre se déplaçant avec la vitesse $V_{T/O}$, l'observateur terrestre verra l'étoile dans la direction du vecteur $\vec{V}_{L/T}$ tel que

$$\vec{V}_{L/T} + \vec{V}_{T/O} = \vec{V}_{L/O}$$

Son observation est entachée d'une erreur $\Delta\theta$ telle que

$\frac{AB}{\sin\Delta\theta} = \frac{OA}{\sin\theta}$ donc $\sin\Delta\theta = \frac{v}{c}\sin\theta$ (c vitesse de la lumière, v vitesse orbitale de la Terre). (cf fig 1)

L'angle d'aberration $\Delta\theta$ est très petit ; il est maximum pour $\theta = 90^\circ$ ce qui se produit

quand la Terre est en T_1 ou en T_3 . On obtient la valeur de la constante d'aberration annuelle $k \simeq \frac{29.78}{299792} \simeq 9,93 \times 10^{-5} \text{ rad} \simeq 20,5''$ (cf fig 2)

L'angle θ variant avec la position de la Terre sur son orbite, le phénomène d'aberration pour une étoile donnée se manifeste au cours d'une année par la description d'une ellipse de demi grand axe $20,5''$ (ellipse d'aberration) décrite par la position apparente de l'étoile au cours de l'année. Le maximum d'aberration est obtenu quand la vitesse de la Terre a la direction de l'intersection d'un plan perpendiculaire à la direction de l'étoile avec le plan de l'écliptique. Il ne dépend ni de la position ni de la distance de l'étoile.

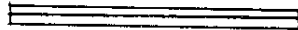
Le demi petit axe de l'ellipse d'aberration vaut $20,5'' \sin b$ où b est la latitude écliptique de l'étoile :

$$\frac{EE_3}{V} = \frac{EE_2}{V \sin b} \text{ d'où } EE_2 = EE_3 \sin b \text{ (cf fig 3)}$$

La mesure de k permet un recoupement avec la mesure de τ , le temps de parcours de la lumière du Soleil à la Terre. Avec $\tau = 8,5 \text{ mn}$ trouvée par Halley en 1694, on obtient : $c = a/\tau$ où a est la valeur de l'unité astronomique

$$v = \frac{2\pi a}{A} \text{ où } A \text{ est la durée de l'année sidérale}$$

On trouve $k \simeq v/c \simeq \frac{2\pi\tau}{A} \text{ (rad)} \simeq 360 \frac{\tau}{A} \text{ (degrés)}$ soit $k \simeq 0,0058^\circ \simeq 21''$ ce qui est compatible avec les observations de Bradley.



INFOLABO IL3-LUMIERE ET RAYONNEMENT

Le logiciel IL3-LUMIERE ET RAYONNEMENT est constitué de 5 applications différentes:

Francis BERTHOMIEU
Place de l'église
83111 AMPUS

Couleurs
Bohr
Arc en Ciel
Corps Noir
Spectro



© f.berthomieu 1994

Ces "Schémas animés interactifs" sont destinés aux élèves de l'option Sciences Expérimentales en première S.

COULEURS

Cette application propose une activité expérimentale basée sur l'utilisation d'images obtenues par synthèse additive (sur l'écran de l'ordinateur).

Ceci permet d'observer la composition spectrale de la lumière émise par les luminophores du moniteur de l'ordinateur. On en déduira les règles de synthèse additive ou soustractive des couleurs.

CORPS NOIR

Le tracé des courbes théoriques régissant l'émission du corps noir dans une gamme de température correspondant à des émissions dans le domaine du visible est ici obtenu en quelques instants. On peut ainsi dégager un temps précieux pour l'interprétation de l'aspect coloré d'un tel corps et établir ainsi les connaissances permettant l'interprétation de la couleur des étoiles.