

## LA VITESSE DE LA LUMIERE ET ROËMER

### DÈS L'ANTIQUITÉ...

La question d'une vitesse possible de propagation de la lumière s'est posée très tôt, d'ailleurs liée à la question de sa nature. Les Anciens pensaient que, pour que l'on puisse voir un objet, il fallait qu'un rayon parte de l'oeil pour l'atteindre (théorie des rayons visuels), et un consensus à peu près unanime existait pour dire que c'était instantané.

Les arguments invoqués venaient soit de l'observation (quand on ouvre les yeux la nuit, on aperçoit aussitôt les lointaines étoiles : les rayons visuels les atteignent donc instantanément), soit d'un raisonnement analogique (levier transmettant une force), soit d'une justification métaphysique (la nature aime ce qui est utile aux êtres vivants, donc qu'ils puissent voir instantanément).

Pour ceux qui pensaient que la lumière était "matérielle" (atomistes), le déplacement se faisait instantanément dans le temps mais successivement dans l'espace, tandis que pour les autres (aristotéliens) c'était une modification instantanée qualitative du milieu.

Vers l'an mil, Ibn Al Haïtham réfute la théorie des rayons visuels (l'oeil est un appareil optique où la lumière pénètre en se réfractant) et élabore une théorie de la réflexion et de la réfraction qui nécessite une vitesse finie de la lumière.

Les débats vont se poursuivre en Occident tout au long du Moyen Age; surtout après le 12e siècle (où Aristote et Ibn Al Haïtham auront été traduits en latin), les arguments seront approfondis (Bacon, Witelo par exemple).

Aux 16e et 17e siècles, les recherches et travaux en Optique avancent considérablement et Descartes, dont les théories nécessitent une propagation instantanée, utilise l'argument suivant : au moment des éclipses de Lune, on observe un alignement Soleil-Terre-Lune, ce qui ne serait pas le cas si la vitesse de la lumière était finie :

On ne verrait donc pas l'alignement S-T-L, mais on noterait un angle  $\theta$  (Descartes trouve  $\theta = 33^\circ$  pour  $t = 1$  h !).

Huygens reprendra ce raisonnement plus correctement : utilisant le fait qu'on ne peut avoir dans la mesure des angles une précision supérieure à 6', il calcule que pour  $\theta \leq 6'$ ,  $t \leq 10$ s. Il en conclut donc que la vitesse de la lumière est au moins 100 000 fois plus grande que celle du son.

Mais c'est l'étude d'un autre problème qui fournira des arguments plus convaincants aux tenants de la finitude de la vitesse de la lumière.

### LA DÉTERMINATION DES LONGITUDES

A partir de 1600, le développement des voyages, maritimes en particulier, nécessite la connaissance de la position du voyageur sur le globe, et divers états vont offrir d'importantes récompenses à qui proposera un procédé de détermination de la longitude d'un lieu.

Dès 1612, Galilée a l'idée d'utiliser les révolutions des satellites de Jupiter : en comparant l'heure d'observation d'une éclipse par exemple à celle indiquée par une table élaborée au lieu d'origine du voyageur, on peut déterminer la différence de longitude entre les deux lieux. Mais faute d'un procédé pratique d'observation en mer, Galilée n'aura pas la récompense promise. En revanche, Cassini va utiliser cette idée pour déterminer la longitude sur terre de divers lieux (Marseille, Acadie, Uraniborg, Cayenne...) en envoyant sur place une équipe observer l'heure d'éclipses et en comparant avec celle notée à Paris. L'Observatoire étudiera très régulièrement les phénomènes des satellites de Jupiter dès sa création, décidée en 1666 !

(Le problème des longitudes en mer trouvera sa solution avec les progrès de l'horlogerie qui permettront aux navires d'emporter des "garde-temps" fidèles du lieu d'origine).

## L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Une des premières tâches sera la mesure de l'arc de méridien Surdon-Malvoisine par Picard en 1670, ce qui lui donnera une bonne valeur du rayon de la Terre :  $R \simeq 6372 \text{ km}$ . En 1672-1673, eut lieu une expédition à Cayenne pour observer l'opposition Terre-Mars simultanément de l'Observatoire et de Cayenne par Riché. La connaissance de la latitude et de la longitude de Paris et Cayenne permit de déterminer la distance géométrique Paris-Cayenne; la différence d'angle de visée de Mars entre Paris et Cayenne au moment de l'opposition donna la distance minimum Terre-Mars; laquelle permit de calculer à l'aide de la 3ème Loi de Kepler la distance Terre-Soleil :

$$a_T \simeq 147 \times 10^6 \text{ km}$$

Mais en 1671, Picard était parti à Copenhague pour déterminer la différence de longitude entre Uraniborg (observatoire de Tycho-Brahé) et Paris, afin de pouvoir utiliser les observations de celui-ci. On lui adjoignit un jeune Danois, Olaiis Roëmer.

## ROËMER (1644-1710)

Roëmer était alors en train de travailler à la révision et à la copie des manuscrits de Tycho-Brahé. Ce jeune mathématicien sera amené à Paris par Picard pour y participer aux travaux de l'Observatoire. Il observera les satellites de Jupiter, fabriquera des machines démontrant les mouvements des corps célestes et participera aussi à l'aménagement des fontaines de Versailles, avant de repartir en 1680 à Copenhague pour s'occuper d'astronomie et d'hydraulique (canaux de Copenhague). Il tentera toute sa vie de déterminer des parallaxes d'étoiles afin de prouver l'hypothèse de Copernic. Ses travaux resteront longtemps méconnus en raison de sa difficulté à s'exprimer par écrit et à rendre compte de ses recherches. Il restera célèbre pour son évaluation de la vitesse de la lumière à partir de l'observation des satellites de Jupiter.

## JUPITER ET SES SATELLITES MÉDICÉENS

Les quatre satellites de Jupiter visibles de la terre évoluent dans son plan équatorial, peu incliné par rapport à son orbite, elle-même peu inclinée par rapport à l'écliptique. Nous voyons donc ceux-ci toujours alignés, avec des périodes sidérales allant de 1,8 jour (Io : I) à 16,7 jours (Callisto : IV) et pouvant présenter quatre types de phénomènes (éclipses, occultations, ombres, passages) indiqués dans les éphémérides par :

<u>éclipse</u> :	E.c. (commencement)	<u>ombre</u> :	O.c.
	E.f. (fin)		O.f.
<u>passage</u> :	P.c.	<u>occultation</u> :	Im (immersion).
	P.f.		Em (émersion)

Eclipses et ombres dépendent des positions du Soleil, de Jupiter, du satellite.

Occultations et passages dépendent des positions de la Terre, de Jupiter, du satellite.

Le schéma, relatif à Io (I), montre que, pour ce satellite, on voit le début de l'éclipse (et pas la fin) avant l'opposition, alors qu'après, on voit la fin de l'éclipse (et pas le début)... (voir Figure 2)

## COMMUNICATION DE ROËMER A L'ACADÉMIE DES SCIENCES (7 Décembre 1676)

La démonstration de Roëmer est la suivante : si la lumière a une vitesse finie, la durée (observée de la Terre) entre deux éclipses de Io ne doit pas être la même suivant que l'observation est faite avant l'opposition ou après celle-ci. Dans le premier cas, pendant le temps compris entre deux éclipses successives de Io, la Terre s'est rapprochée de Jupiter; la durée observée sera donc plus courte que la durée réelle (la lumière a moins de distance à parcourir au moment de la 2ème éclipse). Dans le deuxième cas, la Terre se sera éloignée et on observera donc une durée supérieure à la durée réelle. (Les différences sont d'autant plus nettes que l'on est proche d'une quadrature Soleil-Terre-Jupiter). Or, si ce phénomène n'est pas aisément détectable sur une seule durée inter-éclipses, c'est très net si l'on cumule 40 durées inter-éclipses avant l'opposition, puis 40 après et si l'on compare.

Cela a permis à Roëmer d'annoncer 10 minutes de retard sur les prévisions pour une éclipse de Novembre 1676, et de calculer une vitesse de la lumière de 220 000 km/s environ en utilisant les valeurs de R et de  $a_T$  mentionnées ci-dessus (Roëmer avait surestimé le temps de retard maximum).

Ce résultat va être rapidement accepté, et quasi unanimement. Seul, Cassini objecte que l'on ne peut constater les mêmes résultats sur les trois autres satellites. (En fait, ceux-ci ont des périodes beaucoup plus longues et beaucoup moins régulières car beaucoup plus perturbées).

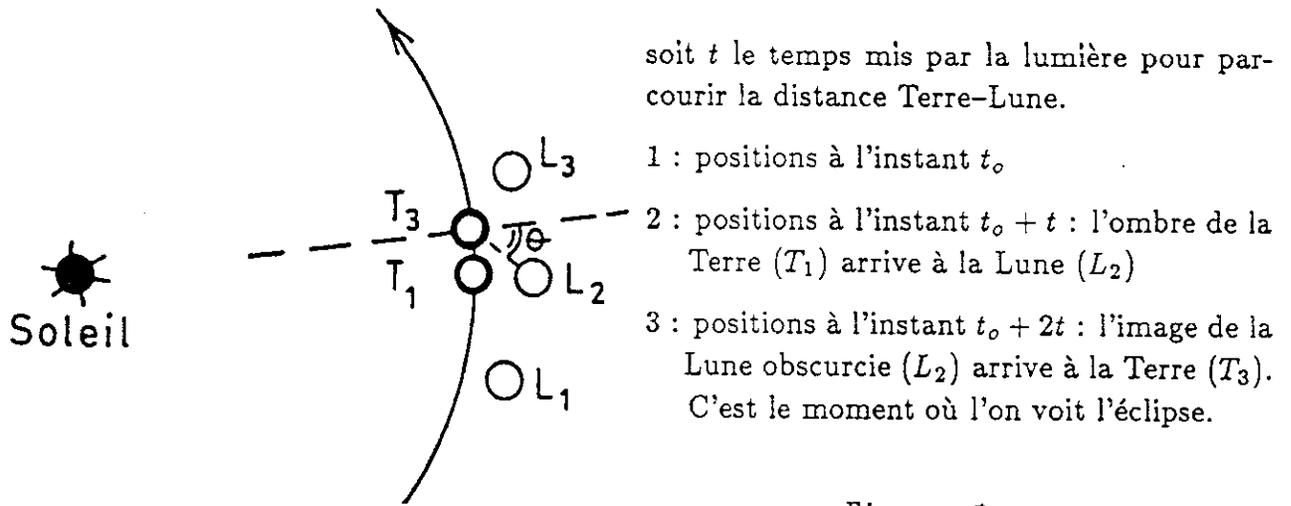


Figure 1

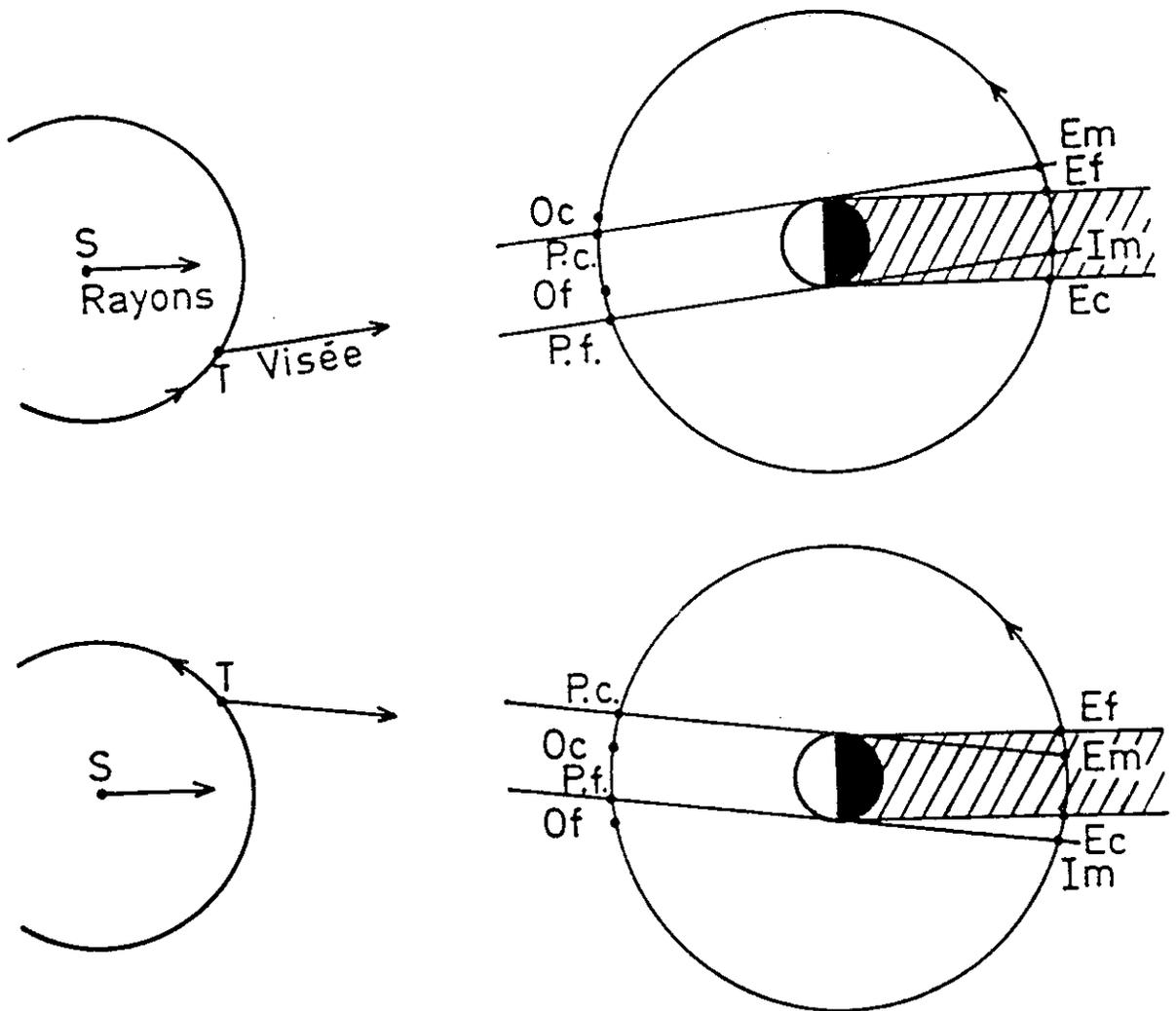


Figure 2

## APRÈS ROËMER

L'affirmation de Roëmer sur la finitude de la vitesse de la lumière recevra une première confirmation par Bradley lorsqu'il découvrira en 1726 l'aberration de la lumière et une évaluation bien plus précise lorsque l'interféromètre utilisé par Michelson en 1881 donnera une première mesure de  $c$ .

## REGARD SUR LES EPHEMERIDES 1990

40 + 40 durées inter-éclipses prises "systématiquement" de part et d'autre de la conjonction du 15 juillet 1990 :

Du 25 janv. 1990, 11 h 11 (I E.f.), au 6 avril 1990, 6 h 24 (I E.f.) : 70 j 19 h 13 min

Du 23 oct. 1990, 3 h 52 (I E.c.), au 1er janv. 1991, 22 h 40 (I E.c.) : 70 j 18 h 57 min

On a une différence de 16 min.

Le maximum que l'on puisse avoir avec les seules éphémérides 1990 est de 80 + 80 inter-éclipses prises "systématiquement" de part et d'autre de la conjonction précédente. On a alors 141 j 14 h 21 min avant, 141 j 13 h 52 min après; ce qui permet d'avoir une idée assez précise de la période de révolution de Io : 42 h 28 min.

Pour avoir une évaluation de  $c$ , il faut prendre le nombre maximum d'inter-éclipses disponibles entre l'opposition du 27 décembre 1989 et la conjonction du 15 juillet 1990, soit 94, pour une durée de 166 j 9 h 3 min. Or 94 durées inter-éclipses "moyennes" donneraient 166 j 8 h 47 min. La lumière aurait donc mis 16 min à parcourir le diamètre de l'orbite terrestre (approximativement), soit une vitesse de

310 000 km/s.

Josée Sert

---

### METTEZ VOTRE PLANETAIRE A L'HEURE

(Rubrique oubliée dans le numéro précédent ...)

Au premier janvier 1992, les longitudes écliptiques héliocentriques des planètes étaient :

Mercure : 195° ; Vénus : 180° ; la Terre : 100° ; Mars : 25° ;

Jupiter : 155° ; Saturne : 308°