Descartes, les éclipses de Lune et la vitesse de la lumière

Dans les cahiers Clairaut numéros 57 (pages 17 et 20) et 67 (pages 5 et 11), on parle rapidement de la méthode de Descartes qui permet d'affirmer, à partir des observations des éclipses de Lune, que la vitesse de la lumière est si ce n'est infinie, du moins très grande. J'ai essayé de calculer la déviation dont parle Descartes avec la valeur actuelle de c, et j'ai obtenu près d'une minute d'arc.

Dans son excellent livre "Et pourtant elle tourne" (Editions du Seuil), Jacques Gapaillard fait très brièvement allusion à cette méthode et donne un résultat de déviation nettement inférieur à la seconde d'arc (page 262). Pour savoir d'où provenait cette différence, je me suis permis de lui écrire et il m'a très gentiment répondu. L'erreur qu'avaient faite Descartes et Huygens, c'est qu'ils n'avaient pas tenu compte de l'aberration de la lumière, phénomène encore inconnu à l'époque. Je vous propose d'analyser d'un peu plus près ce problème, en reprenant très largement les méthodes de calculs de Jacques Gapaillard.

I Principe de Descartes

Descartes pensait que, si la vitesse de la lumière est finie, les astres Soleil Terre Lune ne seront plus alignés au moment où l'on observe une éclipse de Lune depuis la Terre. Et la mesure de l'angle que fait la direction du Soleil avec la direction de la Lune au moment de l'éclipse devrait permettre de trancher entre une vitesse finie ou infinie.

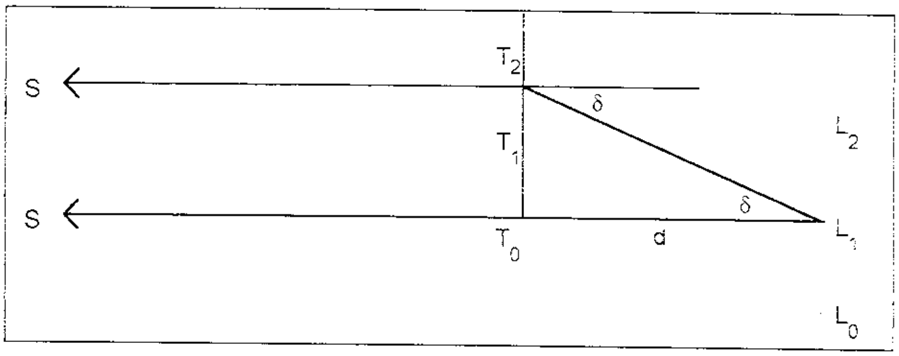
Tout ceci se comprend mieux avec un schéma:

T représente la Terre, L la Lune et S le Soleil. J'ai supposé ici le Soleil très éloigné.

d = distance Terre Lune

V_T=vitesse de la Terre

La Terre, la Lune et le Soleil sont considérés comme ponctuels.



Instant $t_o = 0$: La Terre est en T_o
Un photon représentant la limite de l'ombre frôle la Terre.

Instant $t_1 = \frac{d}{c}$: Le photon arrive sur l'orbite de la Lune.

La Lune est justement en L_1 à ce moment: C'est l'instant de l'éclipse.

Instant $t_2 = \frac{2d}{c}$ Le photon, réfléchi par la Lune, revient sur la Terre qui est alors en T_2.

On a : $T_0T_2 = V_T \times (t_2 - t_0) = V_T \times \frac{2d}{c} = \frac{2dV_T}{c}$

En supposant le Soleil à l'infini (ce qui ne change pas grand chose ici):
L'angle $(\overrightarrow{T_2S}, \overrightarrow{T_2L_1})$ mesure Π-δ avec $\delta \approx \tan\delta = \frac{T_0T_2}{d} = \frac{2dV_T}{c} \times \frac{1}{d} = 2\frac{V_T}{c}$

En prenant V_T = 30 km/s et c = 300 000 km/s, on obtient 2×10^{-4} rd soit **41"** environ.

Malheureusement, ce calcul est faux puisqu'il faut tenir compte de l'aberration de la lumière que Descartes ne connaissait pas puisqu'elle sera découverte par Bradley en 1729.

II L'aberration de la lumière

La Terre se déplaçant autour du Soleil, on n'observe pas une étoile dans la direction où elle est réellement car la vitesse de la lumière est finie. On compare souvent ce problème avec le cas d'un automobiliste se déplaçant sous la pluie: même si celle-ci tombe verticalement, elle semble venir frapper le pare-brise.

Cette aberration ne concerne que la direction observée de la source et n'est pas en contradiction avec le fait que la vitesse de la lumière est constante.

Imaginons un photon p en provenance d'une étoile E. Dans quelle direction faudra-t-il pointer un télescope pour observer cette étoile?

E = étoile fixe

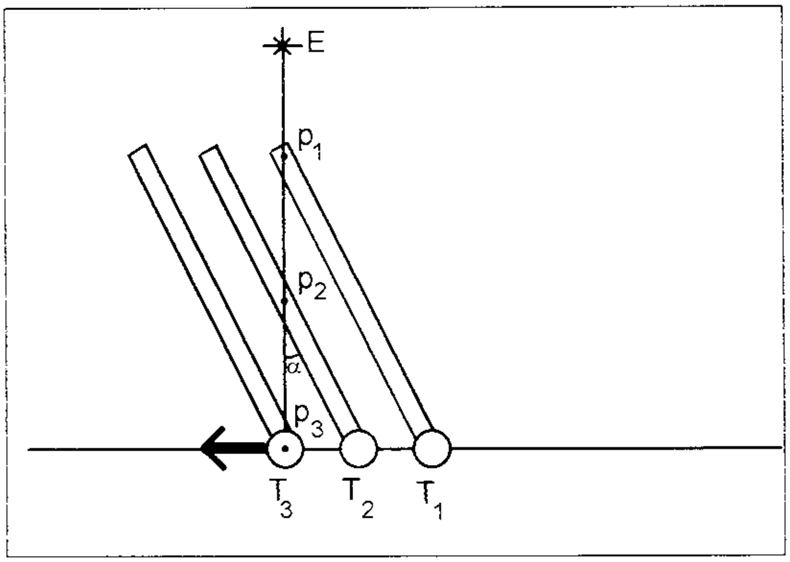
p = photon représenté aux instants t_1, t_2, t_3.

T = Terre représentée aux instants t_1, t_2, t_3.

V_T = vitesse de la Terre.

c = vitesse de la lumière.

Le rectangle représente un tube de télescope.



Pour que le photon p suive le tube du télescope, celui-ci doit être incliné d'un angle α par rapport à la direction de l'étoile avec $\alpha \approx \tan\alpha = \frac{T_2T_3}{p_2p_3} = \frac{V_T \times t}{c \times t} = \frac{V_T}{c}$

III Retour à Descartes

Dans les calculs de la partie I, il faut donc ajouter deux corrections d'aberration, l'une pour la direction du Soleil, l'autre pour la direction de la Lune, toutes deux égales à $\alpha = \frac{V_T}{c}$.

L'angle $(\overrightarrow{T_2S}, \overrightarrow{T_2L_1})$ au I mesurait $\Pi - \delta = \Pi - 2\frac{V_T}{c}$.

Avec la double correction en aberration de 2α ou $2\frac{V_T}{c}$, on retrouve un angle égal à Π.

La déviation à laquelle avait pensé Descartes est exactement compensée par l'aberration de la lumière (ce n'est pas un hasard comme on peut s'en apercevoir avec l'explication du IV dans un repère centré sur la Terre).

Néanmoins, si on veut être précis, on ne peut plus considérer maintenant le Soleil à l'infini.

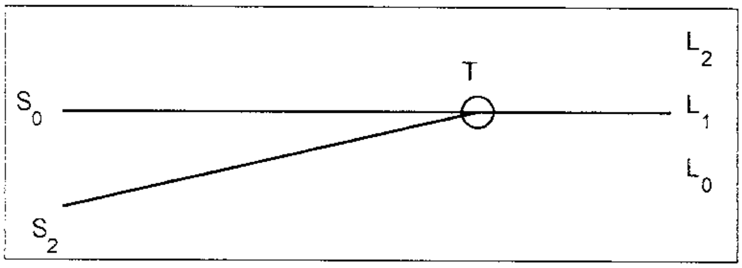
Entre l'instant t_0 et l'instant t_2 de la partie I, la Terre s'est déplacée de T_0 à T_2 et on peut calculer l'angle $(\overrightarrow{ST_0}, \overrightarrow{ST_2})$:

$$\gamma = \frac{T_0T_2}{ST_0} = \frac{\frac{2dV_T}{c}}{1UA} = \frac{\frac{2d}{c} \times \frac{2\Pi \times 1UA}{1an}}{1UA} = \frac{4\Pi d}{c \times 1an} = \frac{4\Pi \times 384000}{300000 \times 365 \times 24 \times 3600} \text{radian} \approx \mathbf{0{,}1''}$$

La déviation est de l'ordre du dixième de seconde d'arc seulement !

IV Dans un repère galiléen lié au centre de la Terre

Le problème est beaucoup plus simple si l'on considère la Terre fixe:



A l'instant $t_0=0$, un photon frôle la Terre. On voit le Soleil dans la direction S_0 (direction qui indique où était le Soleil 8 min 20s plus tôt, mais cela n'a pas d'importance).

A l'instant t_1 de l'éclipse, la Lune est en L_1 et le photon a rejoint son orbite: $t_1 = \frac{d}{c}$

L'éclipse est observée depuis la Terre à l'instant t_2 avec $t_2 = t_1 + \frac{d}{c} = 2\frac{d}{c}$

Si on considère le Soleil à l'infini, il n'y a aucune déviation observable, la Lune et le Soleil seront en opposition.

Mais si en tient compte, on trouve le même angle qu'au III, soit 0,1", beaucoup plus faible que ce qu'avait pu imaginer Descartes.

En conclusion, l'idée de Descartes était intéressante mais néanmoins fausse. En analysant mieux son problème dans deux repères différents, il aurait pu, avant Bradley, découvrir l'aberration de la lumière. Quant à la déviation de 0,1", elle ne me semble pas mesurable. C'est l'angle dont la Lune avance en 2 dixièmes de secondes environ...

Pierre Causeret

Bibliographie:

Jacques Gapaillard: Et pourtant elle tourne! Le mouvement de la Terre. Ed du Seuil

Cahiers Clairaut numéros 57 (pages 17 et 20) et 67 (pages 5 et 11)

Sur l'aberration de la lumière: Méthodes de l'astrophysique. Lucienne Gouguenheim. Hachette