L'ABERRATION DES ÉTOILES ET LA DÉVIATION DES ONDES PAR LE MOUVEMENT DES MILIEUX DE PROPAGATION

par André Metz
(présenté par Paul Couderc)

Sommaire. — *L'auteur démontre que l'hypothèse de l'entraînement de l'éther est incompatible avec la loi de l'aberration telle qu'on l'observe. Il rappelle d'ailleurs les démonstrations classique et relativiste de la formule usuelle de l'aberration.*

Summary. — *The author shows that the carried along ether hypothesis is not compatible with the law of aberration as observed. He records the classical and the relativistic demonstrations of the usual aberration formula.*

Резюме. — Автор показывает, что гипотеза увлечения эфира несовместима с законом аберрации' каким его наблюдают. Автор напоминает классические и релятивистские доказательства обычной формулы аберрации.

On a souvent proposé, pour expliquer le résultat négatif de l'expérience de Michelson — et des autres expériences destinées à mettre en évidence le mouvement de la Terre par des moyens optiques ou électriques — l'hypothèse de l'entraînement du milieu de propagation des ondes (l'éther) par la Terre autour des appareils servant aux expériences.

Cette hypothèse se heurte à de nombreuses difficultés, et en particulier, à celles que suscite le phénomène de *l'aberration.* L'interprétation classique était que ce phénomène révélait le mouvement de l'observatoire par rapport à l'éther, *en admettant que ce milieu n'était nullement entraîné.*

La théorie de la Relativité en rend également compte, comme on le verra plus loin.

Des tenants de l'hypothèse de « l'entraînement de l'éther » ont néanmoins affirmé qu'elle était compatible avec l'aberration [1] : en effet si les rayons lumineux venant d'une étoile passent de l'éther intersidéral, supposé immobile, à l'éther « entraîné » qui entoure la Terre, il est évident qu'ils subissent une déviation en passant de l'un à l'autre. Cette déviation est-elle justement égale à celle qui est observée ? C'est la question que nous nous proposons de résoudre.

La théorie de l'aberration

Avant tout il importe d'avoir une interprétation correcte de l'aberration.

Pour faire la théorie de ce phénomène il n'est nullement besoin de parler d'éther, comme on le faisait souvent avant la Relativité. Cependant, si l'on s'astreint à ne parler que de mouvements relatifs, on éprouve des difficultés insurmontables, du fait que les astres ont eux-mêmes des mouvements importants, souvent mal connus, et surtout du fait que les positions et les vitesses qu'il faudrait considérer sont celles que ces astres avaient quelques années (ou souvent quelques milliers d'années) auparavant puisque c'est alors qu'ils ont émis la lumière que nous observons....

Quels que soient ces éléments, et quels que soient les mouvements de l'astre depuis cette époque, c'est la lumière arrivant à nos lunettes qui est la réalité atteinte par ces instruments et l'expérience montre que la direction de la lumière venant d'une étoile est sensiblement la même pendant toute une année (quel que soit le point de son orbite où se trouve la Terre) par rapport à un système de référence S formé par le Soleil et les directions des étoiles dites « fixes ».

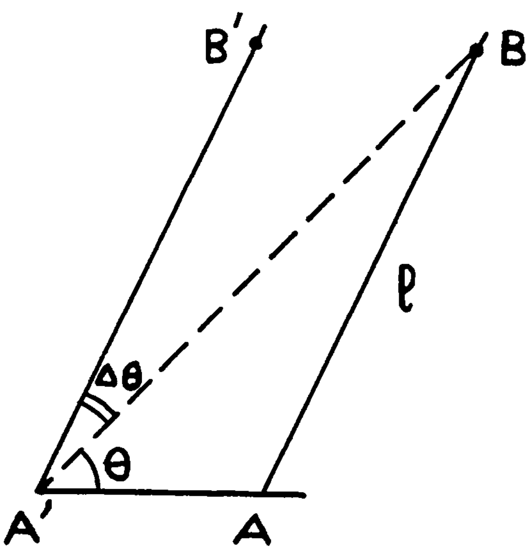

FIG. 1.

Prenons donc ce système S comme référence, et soit AB une lunette astronomique de longueur l (en A l'oculaire, en B l'objectif) dont l'axe optique est dirigé sur une étoile. Soit c la vitesse de la lumière et v la vitesse du point du Globe où se trouve l'observatoire. La lumière de cette étoile arrive d'abord en B, puis, après un temps très court $\Delta t = l/c$, parvient à l'oculaire qui est venu en A', tel que $AA' = v\Delta t = vl/c$.

La direction « vraie » de la lumière venant de l'étoile par rapport à S est celle de la droite BA'. La direction apparente, c'est-à-dire celle de la lunette, est AB (ou A'B', après le temps l/c).

Soit θ l'angle AA'B (angle de la direction du rayon lumineux avec la vitesse de l'observateur au point considéré). L'aberration est l'angle B'A'B, ou $A'BA = \Delta\theta$.

Dans le triangle ABA', on a

$$\frac{l}{\sin \theta} = \frac{AA'}{\sin \Delta\theta}.$$

D'où, en confondant l'arc $\Delta\theta$ avec son sinus,

$$\Delta\theta = \frac{v}{c} \sin \theta.$$

Cette démonstration est, à peu de détails près, la démonstration la plus classique.

En fait, on ne constate pas une direction AB, ou A'B', dans le système S, mais une direction de la lunette, notée par rapport au système de référence de l'observatoire terrestre, qui est en mouvement par rapport à S.

Or, dans deux systèmes de référence en mouvement l'un par rapport à l'autre, les directions sont les mêmes d'après l'ancienne mécanique, mais non pas d'après la théorie de la Relativité (les *temps* eux-mêmes sont différents). On dira que les différences sont négligeables, au premier ordre en v/c. Mais cette affirmation est un peu sommaire (et peut-être discutable, du fait qu'il s'agit de trajectoires parcourues avec la vitesse de la lumière). Il semble plus rigoureux de procéder par la géométrie analytique, où l'on peut se rendre compte de façon précise, au fur et à mesure des calculs, des éléments que l'on est amené à négliger.

Soit une onde lumineuse (ou un photon) arrivant au temps zéro à l'origine des abscisses avec l'angle θ par rapport au système S. Les équations de son mouvement sont, dans le système S

$$x = -ct \cos \theta \tag{1}$$

$$y = -ct \sin \theta. \tag{2}$$

Cherchons l'angle de ce même mouvement dans un système S′, ayant par rapport à S la vitesse $-v$ le long de l'axe des x. On a $x' = \dfrac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, ou, en négligeant v^2/c^2

$$x' = x + vt \tag{3}$$

$$y' = y. \tag{4}$$

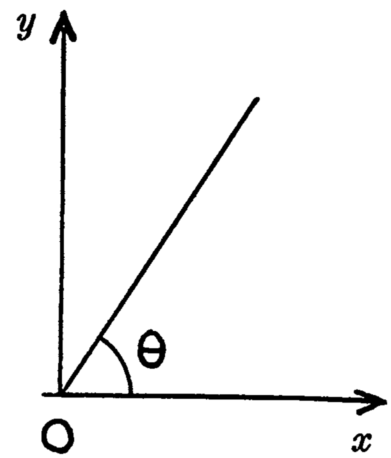

Fig. 2.

Éliminons x, y et t de 1), 2), 3) et 4).

Il vient

$$x' = \frac{cy' \cos \theta - vy'}{c \sin \theta} \quad \text{ou} \quad \frac{y'}{x'} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta - v/c}.$$

C'est l'équation d'une droite de pente tg $\theta' = \dfrac{y'}{x'}$ ou, en posant $\theta' = \theta + \Delta\theta$ et confondant $\Delta\theta$ avec sa tangente,

$$\frac{\operatorname{tg} \theta + \Delta\theta}{1 - \Delta\theta \operatorname{tg} \theta} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta - v/c}.$$

D'où l'on tire

$$\Delta\theta = \frac{(v/c) \sin \theta}{1 - (v/c) \cos \theta}.$$

En négligeant les termes en v^2/c^2, on trouve

$$\Delta\theta = \frac{v}{c} \sin \theta. \tag{5}$$

C'est la même formule que plus haut. Elle donne très sensiblement la mesure de l'aberration telle qu'elle est observée par les astronomes.

Bien entendu, une observation ne fournit pas immédiatement la valeur de $\Delta\theta$ en tant que déviation à partir de l'angle vrai θ qui est alors inconnu, mais l'ensemble des observations au cours de l'année donne les variations de l'angle observé autour d'une valeur moyenne, qu'on admet comme étant l'angle θ.

L'aberration est maximum pour $\theta = \pi/2$. Elle est alors (v/c) ce qui pour $v = 30$ km-sec (vitesse de la Terre sur son orbite) et $c = 300\,000$ km-sec donne 1/10 000 de radian, soit environ 20″5. C'est ce qu'on appelle la *constante de l'aberration.*

La déviation des ondes par le mouvement des milieux [2]

Considérons des ondes liées à un milieu, comme le sont les ondes mécaniques, ou acoustiques (et comme on considérait jusqu'à Einstein les ondes lumineuses). Si une onde passe d'un milieu à un autre, en mouvement par rapport au premier, il y a une sorte de réfraction des ondes passant de l'un à l'autre.

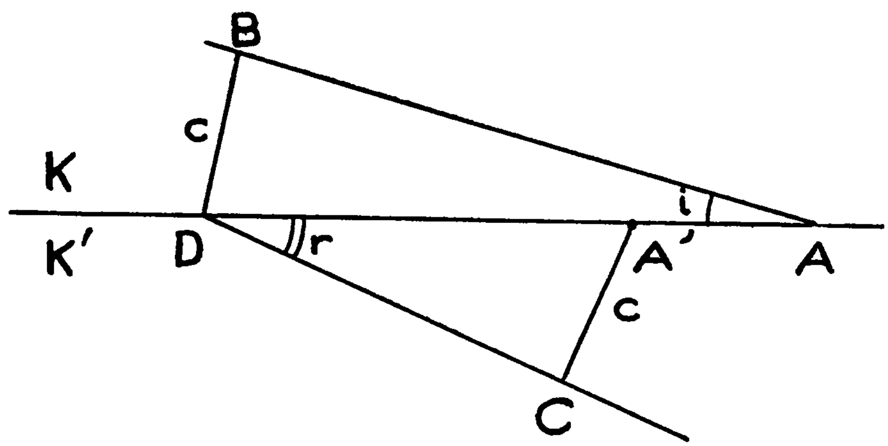

Fig. 3.

Considérons une onde plane AB à l'instant zéro, se propageant avec la vitesse c dans le milieu K, et arrivant sous l'angle d'incidence i à la surface de séparation avec un autre milieu K′, où la vitesse de propagation est la même, mais qui est animé d'une vitesse v le long de cette surface.

Soit A un point où cette onde touche la surface de séparation, et B un point tel que BD $= c$.

Au bout du temps $t = 1$ l'onde passera par le point D, mais le point du milieu K′ qui se trouvait au temps zéro en A se trouvera alors en A′ tel que AA′ $= v$, et la droite DC trace de l'onde au temps $t = 1$ est tangente en C au cercle de rayon c et de centre A′.

Appelons r l'angle ADC.

On a

$$AD = AA' + A'D$$

donc

$$\frac{c}{\sin i} = v + \frac{c}{\sin r}$$

d'où

$$\sin r = \frac{c \sin i}{c - v \sin i}.$$

Si v est très petit par rapport à c, et si i n'approche pas de $\pi/2$ la déviation est très faible, et si on pose $\varepsilon = r - i$, on a, en confondant sin ε avec ε et cos ε avec 1

$$\sin i + \varepsilon \cos i = \frac{\sin i}{1 - (v/c) \sin i} = \sin i \left(1 + \frac{v}{c} \sin i + \ldots\right).$$

D'où, en négligeant les termes en v^2/c^2

$$\varepsilon = \frac{v}{c} \sin i \operatorname{tg} i. \tag{6}$$

Cette formule montre qu'il y a toujours une déviation, sauf si $i = 0$ (ondes parallèles à la surface de séparation, c'est-à-dire rayons lumineux perpendiculaires).

Si plusieurs couches sont superposées, les déviations s'ajoutent à chaque surface de séparation.

On peut considérer que le passage d'un milieu à un autre peut se faire par l'intermédiaire de plusieurs couches parallèles, avec des vitesses très faibles v_1, v_2... v_n d'une couche à la suivante. On peut alors, pour le calcul, considérer i comme sensiblement constant et la déviation est au total $(V/c) \sin i \operatorname{tg} i$ en appelant V la vitesse $v_1 + v_2 + \ldots + v_n$.

En généralisant, on peut appliquer cette formule à un milieu dont la vitesse passe progressivement de 0 à V par modifications continues.

Comparaison entre l'aberration et la déviation par le mouvement des milieux

Les formules 5) (*Aberration*) et 6) (*Déviation*) contiennent v/c multiplié par des lignes trigonométriques, et il est certain que le rapprochement est tentant.

Remarquons d'abord que si l'éther était entraîné par la Terre au voisinage de l'observatoire, il n'y aurait aucune « aberration » proprement dite au passage dans la lunette, en ce sens que l'axe optique de l'instrument serait, exactement, et sans déviation, dans la direction même du rayon lumineux qui y arrive : Toute la déviation, aurait donc lieu *avant* cette arrivée, à la traversée des surfaces (ou des couches) de séparation entre l'éther immobile et l'éther entraîné.

Si on suppose — ce qui semble vraisemblable, au moins pour certains observatoires et certaines positions de la Terre sur son orbite — que la surface (ou les surfaces, ou les couches) de séparation est parallèle au plan de l'écliptique, les angles i et θ sont *complémentaires*. Les deux formules $v/c \sin \theta$ et $v/c \sin i \operatorname{tg} i$ sont donc incompatibles.

En particulier, la déviation par le mouvement des milieux serait nulle pour $i = 0$, ce qui correspondrait à $\theta = \pi/2$, c'est-à-dire à l'aberration maximum.

Notons enfin qu'il y a dans l'étude de cette déviation, un phénomène curieux qui s'apparente à la « réflexion totale », bien connue dans l'étude classique de la « réfraction » proprement dite.

En effet, à partir d'un angle limite $i = \lambda$ tel que $\dfrac{c}{\sin \lambda} = c + v$ ou $\sin \lambda = \dfrac{c}{c + v}$ la construction de la figure 3 n'est plus possible, et les ondes ne peuvent plus pénétrer d'un milieu dans l'autre. Cet angle correspond à la déviation maximum pour des vitesses c et v données.

Pour $c = 300\,000$ k/sec et $v = 30$ k/sec, cette déviation serait de l'ordre du grade ou du degré (plus exactement $0^{\circ}48'$, ou $0^{\mathrm{Gr}}90^{\cdot}$) ce qui est très supérieur à toutes les « aberrations » constatées.

Dans le cas envisagé plus haut, où les surfaces de séparation seraient parallèles au plan de l'écliptique, il y aurait au voisinage de l'écliptique, une zone de la sphère céleste où les astres seraient invisibles de la Terre.

Tout cela ne correspond à rien dans les observations astronomiques telles qu'elles sont effectuées et notées dans les observatoires.

En résumé le phénomène de l'aberration est incompatible avec l'hypothèse de l'éther entraîné.

Les résultats de l'étude ci-dessus au sujet de la déviation des ondes par le mouvement des milieux, s'ils ne s'appliquent pas à la lumière, sont néanmoins valables pour toutes les ondes qui sont liées à des milieux de propagation. Telles sont les ondes mécaniques qui se produisent dans les corps solides, liquides ou gazeux, et en particulier les ondes sonores et les ultra-sons.

Manuscrit reçu le 5 *mars* 1959.

BIBLIOGRAPHIE

[1] E. Brylinski, *C. R.*, **179**, 1924, 1034. Plus récemment, A. Datzeff, *C. R.*, **245**, 1957, 827 et 891.
[2] A. Metz, *C. R.*, **180**, 1925, 495 et *C. R.*, **248**, 1959, 1615.