Mémoire sur la vitesse de la lumière,

lu à la première Classe de l'Institut, le 10 décembre 1810 ; par M. ARAGO

L'extrait du mémoire suivant montre comment Arago, un siècle avant la découverte de la Relativité, est passé tout à côté d'une fantastique découverte : la vitesse de la lumière est constante !

La détermination de la vitesse prodigieuse avec laquelle se meut la lumière dans l'espace est, sans contredit, un des plus beaux résultats de l'astronomie moderne. Les anciens croyaient cette vitesse infinie ; et leur manière de voir n'était pas, à cet égard, comme sur tant d'autres questions de physique, une simple opinion dénuée de preuves ; car Aristote, en la rapportant, cite à son appui la transmission instantanée de la lumière du jour. Cette opinion fut ensuite combattue par Alhazen, dans son Traité d'optique, mais seulement par des raisonnements métaphysiques auxquels Porta, son commentateur, qui admettait ce qu'il appelle l'immatérialité de la lumière, opposa aussi de très-mauvais arguments. Galilée paraît être le premier, parmi les modernes, qui ait cherché à déterminer cette vitesse par l'expérience. Dans le premier des dialogues *delle Scienze Nuove*, il fait énoncer par *Salviati*, un des trois interlocuteurs, les épreuves très ingénieuses qu'il avait employées, et qu'il croyait propres à résoudre la question. Deux observateurs, avec deux lumières, avaient été placés à près d'un mille de distance : l'un d'eux, à un instant quelconque, éteignait sa lumière ; le second couvrait la sienne aussitôt qu'il ne voyait plus l'autre ; mais, comme le premier observateur voyait disparaître la seconde lumière au même moment où il cachait la sienne, Galilée en conclut que la lumière se transmet dans un instant indivisible à une distance double de celle qui séparait les deux observateurs.

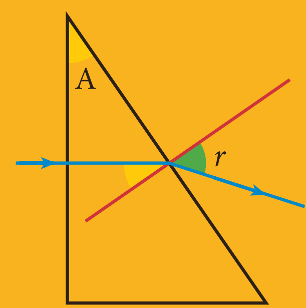
[…]

Quelques astronomes n'avaient cependant pas adopté ce résultat ; ils soupçonnaient que les étoiles de diverses grandeurs peuvent émettre les rayons avec différentes vitesses, et il faut convenir que cette idée, surtout dans le système de l'émission, était à la fois naturelle et probable.

[…]

La certitude des conclusions qu'on tire à l'égard de la vitesse de la lumière, des observations faites à l'aide des prismes, repose sur le fait qu'une inégalité de vitesse produit une inégalité de déviation, ce qui résulte immédiatement de l'explication que Newton donne de la réfraction. […]

Un rayon de lumière arrivant à la vitesse c dans l'air, traverse le prisme à la vitesse x.



À sa sortie, on mesure r.

On a alors : $\frac{c}{x}\sin A = \sin r$

Différentions : $\frac{c}{x^2}\sin A \cdot dx = \cos r \cdot dr$

Finalement : $dr = \frac{c}{x^2}\frac{\sin A}{\cos r}\cdot dx$

Par le calcul [voir ci-dessus] j'obtins la variation de la déviation en fonction de celle de la vitesse. Je sus alors que $\frac{1}{10186}$ de variation dans la vitesse de la lumière, devait produire, dans mon premier prisme, un changement de déviation égal à 6″ ; cette variation s'élève à près de 14″ dans le prisme achromatique quadruple que j'ai appliqué à la lunette du cercle répétiteur.

Telles seraient donc les inégalités de déviations que je devrais trouver, si les rayons émis par les diverses étoiles que j'ai observées avaient des vitesses qui différassent entre elles de $\frac{1}{10000}$. Or, la vitesse de translation de la Terre est précisément égale à ce nombre ; on sait d'ailleurs que son mouvement est dirigé vers les étoiles qui passent au méridien à 6 heures du matin et vers celles qui passent à 6 heures du soir, de telle sorte cependant qu'elle s'approche des premières et qu'elle s'éloigne au contraire des autres.

La déviation, dans le premier cas, doit donc correspondre à la vitesse d'émission augmentée de sa $\frac{1}{10000}$ partie, et, dans le second, à cette même vitesse diminuée de $\frac{1}{10000}$; en sorte que les rayons d'une étoile qui passe au méridien à 6 heures du matin, doivent être moins fortement déviés que ceux d'une étoile qui passe à 6 heures du soir, d'une quantité égale à celle qu'occasionne $\frac{1}{10000}$ de changement dans la vitesse totale, c'est-à-dire de 12″ dans les observations faites au mural, et de 28″ dans celles du cercle répétiteur ; les déviations des étoiles qui passent à minuit devraient d'ailleurs être les moyennes de ces deux-là.

Or, en examinant attentivement mes mesures, j'ai constaté que **les rayons de toutes les étoiles sont sujets aux mêmes déviations** [**et circulent donc à la même vitesse**], sans que les légères différences qu'on y remarque suivent aucune loi.

Ce résultat semble être, au premier aspect, en contradiction manifeste avec la théorie newtonienne de la réfraction, puisqu'une inégalité réelle dans la vitesse des rayons n'occasionne cependant aucune inégalité dans les déviations qu'ils éprouvent.

Arago ne croit pas vraiment à la constance de la vitesse de la lumière et se contente de noter une contradiction. Dommage !

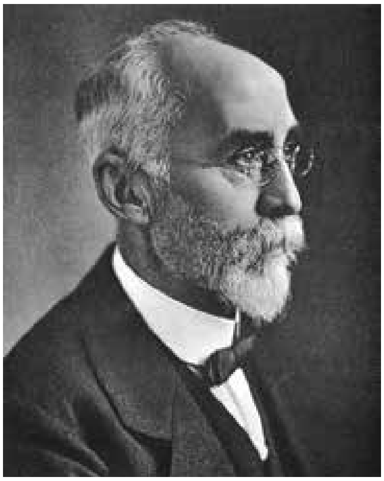
François Arago

La relativité restreinte

Les expériences de **Michelson** et **Morley** (menées en 1887) montrèrent que la vitesse de la lumière ne dépendait pas de la direction vers laquelle elle était émise par rapport au déplacement de la Terre.
D'où l'une des lois fondamentales de la relativité :
la vitesse de la lumière (300 000 km/s) ne peut être dépassée !
Comment peut-on alors s'arranger avec la classique addition des vitesses, par exemple lors du croisement de deux objets en déplacement ?
Car si deux TGV, lancés chacun à 300 km/h (soit 0,083 km/s), se croisent, leur vitesse l'un par rapport à l'autre est bien, elle, de 600 km à l'heure (soit 0,166 km/s).
C'est un lauréat du prix Nobel de physique 1902, **Hendrik Lorentz**, qui nous a révélé la vraie formule de composition des vitesses :
si v et w sont les vitesses de deux mobiles se croisant, alors la vitesse de l'un des mobiles dans le référentiel lié à l'autre est $\dfrac{v+w}{1+\dfrac{v\cdot w}{c^2}}$.


Henri Poincaré
(1854-1912)

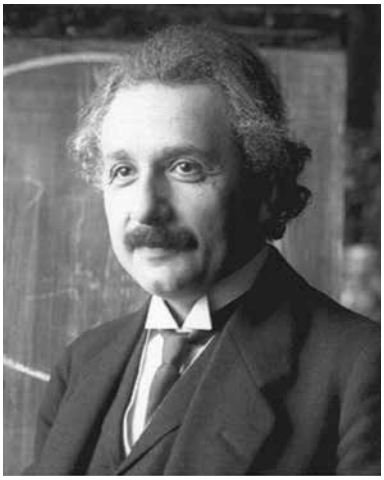
[Pour la petite histoire, rappelons qu'**Einstein** n'eut pas le prix Nobel en 1905 à cause des doutes sur la paternité de la relativité, en particulier de la formule $E = mc^2$ (cette paternité aurait alors pu être attribuée conjointement à Hendrik Lorentz ou à **Henri Poincaré**).
Einstein ne reçut le prix Nobel qu'en 1921, pour sa « contribution à diverses théories physiques, en particulier celle concernant l'effet photoélectrique » !]
On peut vérifier, sur cette formule, que lorsque deux rayons lumineux se croisent à la vitesse c, leur vitesse l'un par rapport à l'autre est $\dfrac{c+c}{1+\dfrac{c\cdot c}{c^2}}$, soit toujours c.


Hendrik Lorentz
(1853-1928)

Voyons ce que donne le calcul pour les deux TGV se croisant :
$v = w = 300 \text{ km/h} = \dfrac{300}{3600} \text{ km/s} = 0{,}083 \text{ km/s}$:

$$\frac{v+w}{1+\dfrac{v\cdot w}{c^2}} = \frac{0{,}166}{1+\dfrac{0{,}0069}{300\,000^2}} = \frac{0{,}166}{1+\dfrac{69}{9\times10^{14}}} = \frac{0{,}166}{1+7{,}7\times10^{-14}}.$$

La vitesse des tgv l'un par rapport à l'autre est donc égale à environ $0{,}166 \times (1 - 0{,}000\,000\,000\,000\,077)$.
Ce nombre ne diffère de $v + w$ qu'au 13ème chiffre significatif.
En fait, dès que les vitesses ne sont pas du même ordre que celle de la lumière, pratiquement, les vitesses s'ajoutent.
Par exemple, si les deux vitesses des deux objets qui se croisent sont ac et bc, alors leur vitesse relative u est $\dfrac{a+b}{1+ab}\cdot c$.
Ainsi si deux objets se croisent à la moitié de la vitesse de la lumière, on a : $a = 0{,}5$ et $b = 0{,}5$. Et on trouve $u = 0{,}8\,c$.
Et, s'il se croisent au dixième de la vitesse de la lumière :
$a = 0{,}1$ et $b = 0{,}1$, et on trouve $u \approx 0{,}2(1 - 0{,}01)c = 0{,}198\,c$.
La loi d'addition des vitesses est encore très acceptable, à 1 % près.


Albert Einstein
(1879-1955)