

LE PRINCIPE DE RELATIVITÉ D'EINSTEIN

Les lecteurs du *Canada Français* connaissent Einstein de longue date ; il leur a été présenté, en mai dernier, par Monsieur l'abbé Vachon qui analysa très judicieusement les commentaires quelque peu tendancieux de Lucien Fabre ; nous ne croyons pas que l'œuvre d'Einstein soit passible des mêmes critiques, leur auteur, dans ses publications de 1905 et de 1911 n'étant pas sorti des limites de la science exacte. Tout au plus, s'est-il risqué, dans une brochure de vulgarisation, traduite en français l'année dernière, à développer une hypothèse cosmologique, ni plus ni moins intéressante que d'autres spéculations dans le même ordre d'idées. Nous n'en parlerons pas. Que le lecteur ne cherche pas autre chose, dans les pages suivantes, qu'une simple vulgarisation *des théories physiques* d'Einstein.

I.— GENÈSE DE LA RELATIVITÉ : LE ROLE DE L'ETHER EN OPTIQUE

Lorsque M. Berthelot écrivait que la physique est essentiellement une science d'observation et d'expérimentation, il ne méconnaissait pas pour autant l'importance des recherches théoriques et il n'aurait certes pas admis qu'on qualifiât l'expérience de source unique de vérité. L'observation consciencieuse des phénomènes, pour nécessaire qu'elle soit, ne peut nous fournir, sur le monde extérieur, que des connaissances de médiocre qualité, par suite de l'imperfection de nos sens. Si une oreille exercée est capable de discerner dans un son complexe quelques harmoniques, notre œil, par contre, est tout à fait inapte à séparer les

diverses radiations qui forment la lumière blanche, et il ne nous est pas moins difficile d'estimer la différence d'éclaircissement de deux surfaces, que de mesurer le poids des corps par les efforts à exercer pour les soulever. Nos sensations ne sont pas proportionnelles aux excitations qui leur donnent naissance, tout au plus varient-elles comme la racine carrée de ces dernières (loi de Fechner). Aussi en sommes-nous réduits à nous entourer d'instruments de toute sorte pour déterminer exactement les relations de causes à effets. L'expérimentation, permettant une analyse serrée de phénomènes naturels, conduit naturellement à l'énoncé des lois générales traduisibles, en langage mathématique, par des formules plus ou moins compliquées. Mais la science, qui apparaît jusqu'ici comme une suite ininterrompue d'inductions n'atteindrait pas son développement si l'intuition et la pensée déductrice ne jouaient leurs rôles. Dès qu'un certain nombre de phénomènes sont connus, le savant imagine un système, une théorie qui les explique. Une théorie physique est la forme dans laquelle se logent les faits ; elle repose sur un petit nombre d'axiomes, se développe par s'ylogismes mathématiques, et tire sa valeur de sa généralité et de sa fécondité. La science serait parfaite si l'on trouvait une formule unique permettant d'expliquer et de caser tous les phénomènes. Nous n'en sommes pas là, les faits que nous connaissons ne sont pas nombreux et pour les expliquer nous devons souvent avoir recours à des postulats simultanés et indépendants. La théorie de la relativité est une de ces tentatives d'explication. Elle fut imaginée pour lever d'étranges contradictions entre quelques expériences de l'optique. Pour en bien comprendre le sens, il est nécessaire de rappeler les propriétés de la lumière, d'exposer comment les physiciens conçurent l'éther et combien de difficultés ils rencontrèrent sur le chemin de la connaissance.

La lumière que nous envoie le soleil se propage avec une vitesse considérable mais finie. Elle traverse, avant de par-

venir aux limites de l'atmosphère terrestre, les espaces interplanétaires vides d'air. Un faisceau de lumière blanche est à la fois dévié et décomposé par un prisme. On admet que le premier de ces phénomènes, connu sous le nom de réfraction, est dû au fait que la vitesse de propagation n'est pas la même dans le verre que dans l'air(1). On explique le second en supposant la lumière blanche formée d'une infinité de radiations plus ou moins réfrangibles que le prisme étale en un spectre multicolore. Dans certaines conditions, deux rayons lumineux peuvent s'ajouter ou se détruire et donnent lieu sur un écran, à des zones claires et obscures, connues sous le nom de franges d'interférence, analogues aux nœuds et aux ventres d'intensité dans les tuyaux sonores. La lumière comme le son contourne les obstacles (diffraction) et un rayon lumineux qui s'est réfléchi sur un miroir ou qui a traversé une lame cristalline, ne jouit plus des mêmes propriétés suivant toutes les directions : il est polarisé. La présence d'un champ électrique ou magnétique modifie la polarisation.

Telles sont les propriétés de la lumière sur la nature de laquelle nous n'avons rien imaginé. Nous n'avons fait qu'enregistrer les résultats de l'expérience; voyons maintenant les interprétations diverses qu'on en a données.

Newton considérait un rayon lumineux comme un flux de particules matérielles émises par la source, la sensation de lumière résultant du choc de ces corpuscules sur la rétine. Cette hypothèse rend compte de la propagation rectiligne, mais n'explique ni les interférences, ni la diffraction. Elle indique en outre que la vitesse de propagation dans l'eau doit être plus grande que dans l'air, ce qui est contradictoire avec l'expérience.

(1) On définit l'indice de réfraction d'un milieu par le rapport des vitesses de la lumière dans le vide et dans ce milieu. Dans le vide cette vitesse est de 300.000 km. par seconde, dans le verre est elle de 200.000 km. par seconde. L'indice de réfraction du verre est donc égal à $3/2$. Celui de l'eau est égal à $4/3$, c'est dire que la lumière se propage dans l'eau avec une vitesse de 225.000 km. à la seconde.

L'analogie de certains phénomènes de l'optique avec ceux de l'acoustique amena Huygens à énoncer pour la première fois, en 1678, une théorie ondulatoire de la lumière. Newton s'en montra l'adversaire déclaré et le poids de son autorité empêcha nombre de physiciens de se rallier au parti d'Huygens, dont les idées n'étaient d'ailleurs qu'une malhabile ébauche.

Ce n'est que quarante ans plus tard que Fresnel formula nettement l'hypothèse : la lumière est due à un mouvement vibratoire qui se propage avec une vitesse finie. Cette propagation étant susceptible de se faire dans le vide, il faut supposer l'existence d'un milieu inmatériel, nommé *éther*, dans lequel prennent naissance et se transmettent les vibrations. Une source lumineuse est l'agent qui entretient le mouvement vibratoire de l'éther.

La théorie ondulatoire de la lumière présente de nombreuses analogies avec celle du son, mais tandis que celui-ci se propage par ondes longitudinales, c'est-à-dire par une suite de compressions et de dilatations dans le sens du mouvement, la polarisation lumineuse ne s'explique que par des vibrations transversales. Les fluides ne transmettant que des perturbations longitudinales, on est amené à considérer l'éther comme un solide élastique, plus rigide que l'acier, où la vitesse des perturbations longitudinales — que les expériences les plus précises de l'optique n'ont jamais décelées — serait infinie. Lord Kelvin supposait cette vitesse nulle et arrivait ainsi à concevoir un éther contractile. Les deux hypothèses sont difficilement admissibles, l'éther devant être encore quasi-impondérable pour ne pas opposer de résistance au mouvement des astres.

La théorie électromagnétique, qui assimile la lumière aux oscillations électriques, a été conçue à un moment où l'on n'avait pas la moindre idée des phénomènes que la T. S. F. a rendus populaires. Les équations fondamentales en sont dues à Maxwell, et c'est Hertz qui, vingt ans plus tard, découvrit et étudia ces ondes. *Les équations de Maxwell*

permettent de calculer tous les phénomènes électriques et optiques connus, mais ne nous apprennent rien sur l'éther sinon que ce corps doit être isolant, posséder de l'inertie et une force de restitution analogue à l'élasticité qui ramène à sa position primitive une particule précédemment déplacée. Il est donc impossible de se donner une représentation matérielle de l'éther plus léger que l'hydrogène, plus rigide que l'ivoire. Il faut se contenter de le considérer comme un milieu dont les propriétés sont définies en chaque point par deux grandeurs vectorielles représentant, l'une le champ électrique, l'autre le champ magnétique. L'existence de l'éther est d'ailleurs battue en brèche par les résultats contradictoires de toutes les expériences par lesquelles on a essayé de faire apparaître le mouvement relatif de l'éther et de la matière.

Quand on détermine, sur la sphère céleste, la position d'une étoile, on observe dans le cours d'une année que les étoiles voisines du pôle décrivent une circonférence et les autres, une ellipse de plus en plus aplatie à mesure qu'on se rapproche du plan de l'écliptique. Ce phénomène, découvert en 1727, par Bradley, porte le nom d'*aberration*. Il est dû au mouvement de la terre dans l'espace qui modifie la direction apparente des étoiles. Connaissant la vitesse de translation de la terre sur son orbite (environ 30 km. par seconde) et le diamètre apparent des ellipses d'*aberration*, on peut calculer la vitesse de la lumière et le chiffre trouvé concorde avec les valeurs numériques fournies par d'autres expériences. *L'existence d'une aberration prouve clairement que le milieu dans lequel se propage la lumière n'est pas entraîné par le mouvement de la terre.*

L'*aberration* étant fonction de la vitesse de la lumière doit varier si celle-ci subit un changement. On peut la diminuer en remplissant d'eau la lunette d'observation. L'expérience fut tentée par Airy et le résultat contraire à toute prévision : *l'aberration est la même que la lunette contienne de l'air ou de l'eau.* Il faut en conclure que l'eau entraîne l'éther dans son mouvement. Si cet entraînement était complet l'*aberration* disparaîtrait, mais ce n'est pas le cas, donc l'éther subit de

la part de l'eau un entraînement partiel. Fizeau trouva le même résultat, en mesurant par des procédés tout à fait différents — nous ne pouvons entrer dans le détail des expériences — la vitesse de la lumière dans un courant d'eau rapide. Si l'éther était entraîné complètement par l'eau, on devrait trouver — en appliquant les théorèmes classiques de la mécanique — que les vitesses de la lumière et de l'eau s'ajoutent quand elles sont de même sens et se retranchent quand elles sont de sens contraire. Or l'expérience montre que *l'eau semble communiquer à l'éther une vitesse égale à la moitié environ de vitesse propre*. Le chiffre exact est 0,434.

Bien avant ces expériences, Fresnel avait envisagé le cas d'un entraînement partiel possible et en avait calculé l'expression, en admettant que l'éther est condensé dans les corps réfringents tels que l'eau ou le verre. Il avait trouvé la relation :

$$R = 1 - \frac{1}{n^2}$$

où R désigne l'entraînement et n l'indice de réfraction du milieu réfringent. Pour l'eau $n = \frac{4}{3}$ et $R = 0,438$ résultat qui s'accorde admirablement avec l'expérience.

Lorentz, à qui l'on doit une remarquable théorie électromagnétique concernant les propriétés optiques des corps en mouvement, admet l'immobilité absolue de l'éther et explique l'expérience de Fizeau par une translation des électrons par rapport à l'éther. Mais sa formule, beaucoup plus compliquée que celle de Fresnel, n'exprime pas aussi bien le résultat expérimental. Elle fournit pour R la valeur 0,451.

En 1887 Michelson et Morley tentèrent, par une expérience aujourd'hui célèbre, de montrer d'une manière décisive les effets du mouvement relatif de la terre et de l'éther. Dans ce but, ils construisirent un appareil permettant de comparer, à un instant donné, les vitesses de la lumière dans la direction du mouvement de la terre et dans une direction perpendiculaire.

Au grand désappointement des physiciens, les résultats de l'expérience furent négatifs, la vitesse de lumière conservant la même valeur suivant n'importe quelle direction. Tout se passe comme si *la terre entraînait complètement l'éther dans son mouvement*, conclusion inconciliable avec l'existence d'une aberration des étoiles. L'exactitude de ces expériences étant indiscutable, c'est, à n'en pas douter, leur interprétation qui laisse à désirer.

Fitzgerald et Lorentz proposèrent simultanément et indépendamment l'un de l'autre, une explication très hardie de ce désaccord. Ils admettent que dans chaque corps, il se produit une contraction des dimensions linéaires parallèles au mouvement du corps dans l'éther. Ce raccourcissement serait dû uniquement au mouvement, il serait indépendant de la nature du corps — ce qu'il est difficile d'admettre — et d'autant plus grand que le mouvement est plus rapide. Ainsi une sphère se changerait en une ellipsoïde aplatie dans la direction du mouvement ; un cube se déplaçant suivant une direction normale à l'une de ses faces se transformerait en une parallépipède rectangle et un observateur accompagnant le corps dans son mouvement serait incapable de se rendre compte de ces déformations, la règle dont il se servirait — et lui-même — se contractant dans les mêmes proportions(1). Cette hypothèse explique complètement l'expérience de Michelson, mais elle entraîne, en optique et en électricité, d'autres conséquences, que des expérimentateurs habiles ont été impuissants à contrôler.

Alphonse CHRISTEN.

(1) La contraction de Lorentz s'exprime par la formule :

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ou l désigne la longueur du corps mobile dont la vitesse est v , l_0 la longueur du corps au repos et c la vitesse de la lumière. Cette formule permet de calculer la contraction de la terre dans la direction de son mouvement. On trouve pour $v = 30$ Km. par sec. que le diamètre de la terre qui mesure 12,500 km. subit une contraction de 6,36 centimètres. Cette relation montre également qu'il faut considérer la vitesse de la lumière comme une limite. Si nous faisons en effet $v = c$, il vient $l = 0$, c'est-à-dire, tout corps animé de la vitesse de la lumière s'aplatit tellement que sa dimension dans le sens du mouvement s'annule. Il se réduit à une surface sans épaisseur.