

L'expérience de Fizeau

« FRESNEL a mis sur ses bases définitives la doctrine des ondes lumineuses. Certes, on trouve dans plusieurs de ses travaux des divinations merveilleuses plutôt que des déductions rigoureuses, et il ne fit qu'ébaucher une théorie mécanique de la lumière. Les physiciens et les géomètres, successeurs immédiats du grand physicien enlevé par une mort prématurée, ont complété son œuvre et en ont tiré des conséquences nouvelles de la plus haute importance. Aujourd'hui même, malgré certaines différences d'interprétation, la fécondité de la théorie des ondes est loin d'être épuisée...

Parmi les continuateurs de FRESNEL, Hippolyte FIZEAU brille au premier rang... » (1), écrit en 1923 Emile PICARD, à l'époque Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

La théorie ondulatoire doit, certes, beaucoup à FRESNEL. Sans négliger les travaux antérieurs de HUYGENS, EULER, YOUNG..., les apports mêmes de NEWTON, ce sont effectivement les recherches de l'ingénieur des Ponts et Chaussées qui — de 1815 à 1825 — en ont fait une construction scientifique capable de répondre à la plupart des problèmes posés par l'optique du XIX^{me} siècle.

L'expression utilisée par PICARD — « ...certaines différences d'interprétations » — ne me semble toutefois pas refléter la réalité, surtout dans un texte écrit un an avant la publication de la mécanique ondulatoire (2). La « fécondité » des thèses de FRESNEL n'est pas contestable. Le « modèle » de la lumière, par lui défini, a permis d'expliquer nombre de phénomènes et, aujourd'hui encore, constitue une part notable des cours d'optique physique. Mais il recélait cependant des faiblesses, et pas seulement des erreurs d'interprétation.

La cause principale de ces faiblesses est la volonté du physicien, conforme en cela à la mentalité des scientifiques de son temps, de rendre compte des propriétés de la lumière dans le cadre de la mécanique. Comme HUYGENS, FRESNEL imagine, entre

(1) E. PICARD : « Les théories de l'optique et l'œuvre d'Hippolyte Fizeau » (Paris, 1923, p. 12).

(2) L. DE BROGLIE : « Recherches sur la théorie des quantas » (thèse, Paris, 1924).

la source lumineuse et l'organe récepteur, un milieu particulier : « l'éther ». Ce sont dans les vibrations de ce milieu que réside le phénomène lumineux. Basé sur l'analogie avec le son, « l'éther » du savant hollandais était constitué de petites particules, à la fois très dures et très élastiques. La vibration lumineuse était — comme la vibration sonore dans l'air, — longitudinale, c'est-à-dire parallèle à sa direction de propagation. Dès lors, l'optique ondulatoire se ramène à un problème de mécanique des fluides. Mais la question se complique quand FRESNEL est amené à affirmer — de manière définitive en 1821 — que la vibration lumineuse est, non pas longitudinale, mais transversale (3). « L'éther » qu'il entreprend de définir a alors, pour partie les propriétés d'un fluide, pour partie celles d'un solide dont il devient pratiquement impossible de donner une image concrète. C'est un « monstre mécanique » (l'expression est de M. Jean-Paul MATHIEU), dont les physiciens essaieront en vain de prouver l'existence pendant tout le siècle et de résoudre les multiples contradictions. Ce faisant, d'ailleurs, ces essais, même s'ils n'ont pas conduit à la démonstration recherchée, ont amené nombre de découvertes et permis à la physique de progresser.

L'expérience de FIZEAU est l'une de ces tentatives. FRESNEL avait voulu expliquer, dans le cadre de la théorie ondulatoire, à la fois l'aberration des étoiles fixes et le résultat négatif d'une expérience due à ARAGO. A cette fin, il suppose que l'éther est « partiellement entraîné » par la matière en mouvement et parvient même à établir empiriquement ce qu'il appelle le « coefficient d'entraînement » de cet éther. FIZEAU, plus de trente ans plus tard, veut vérifier la validité de cette hypothèse.

LES RESULTATS DE BRADLEY ET ARAGO.

Soit une étoile E (fig. 1), que l'on vise d'un point A de la Terre à l'aide d'une lunette astronomique. L'image E' (ponctuelle si l'étoile est assez éloignée) se forme dans le plan focal de la lunette.

Au cours de l'année, par suite du mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil, la direction AE décrit un cône et l'image E' une petite ellipse. Le phénomène a été découvert par BRADLEY en 1728 et il en a déduit une méthode de mesure de la vitesse de la lumière (4). (« Aberration des fixes » ou « Aberration

(3) Voir notre article : « Le débat sur la transversalité de la vibration lumineuse au début du XIX^{me} siècle » (Cahiers Fundamenta Scientiae, Univ. Louis-Pasteur, Strasbourg, n° 56, 1976).

(4) BRADLEY : « A new apparent motion discovered in the fixed stars, its cause assigned; the velocity and equable motion of light induced » (Philosophical Transactions, Londres, 1728, p. 637).

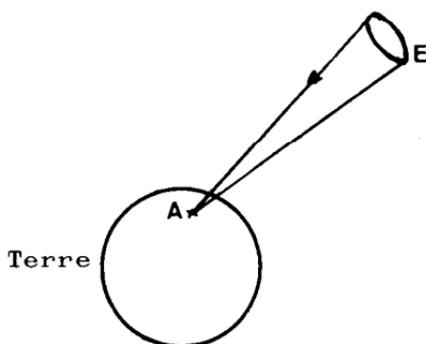


Fig. 1

des étoiles fixes »). BRADLEY, dans le cadre du système newtonien alors dominant, l'interprète comme le résultat de la composition de la vitesse de la lumière et de celle de la Terre dans son mouvement annuel (5). Sur le moment, aucun des rares tenants de la théorie de HUYGENS ne peut en donner une explication satisfaisante.

ARAGO se demande si le mouvement de la Terre influe sur la réfraction, par un prisme, de la lumière provenant d'une étoile. Il observe cette dernière à l'aide d'une lunette dont l'objectif est recouvert par un prisme achromatisé, d'une part quand la Terre, du fait de son mouvement, se rapproche de l'étoile, d'autre part quand elle s'en éloigne. Il recommence à l'aide d'un prisme différent. Sa conclusion communiquée en 1810 à l'Institut : la réfraction est indépendante du mouvement relatif de la source et de l'observateur (6). Son interprétation — nous le savons maintenant — est inexacte. Le mouvement relatif entraîne une modification apparente de longueur d'onde et donc de la réfraction (7).

(5) Voir :

- H. BOUASSE : « Propagation de la lumière. Théorie de la réflexion vitreuse et métallique » (Paris, 1925, p. 100-112) ;
- E. MASCART : « Traité d'optique » (t. III, Paris, 1892, p. 55-64).

(6) Le texte d'ARAGO ne fut publié, « ... malgré toutes ses imperfections, sans y changer un seul mot », qu'en 1853. L'auteur prétend l'avoir égaré, puis retrouvé quarante-deux ans après « ... en rangeant mes papiers par ordre de matière... ». Il est reproduit sous le titre : « Vitesse de la lumière » dans le t. 7 des « Œuvres complètes de François Arago » (Paris, 1858, p. 548-568).

(7) Les premières études de ce qui est devenu l'effet Doppler-Fizeau ont été faites séparément par DÖPPLER en 1842, et FIZEAU en 1848. Il semble qu'ils aient été précédés par BIOT qui avait publié en 1839 une note à ce propos (voir : E. PICARD, op. cité note (1), p. 15-16).

L'erreur du savant vient de l'utilisation d'un prisme *achromatisé*, la substitution des diverses radiations entre elles masquant l'effet recherché. « L'expérience d'ARAGO devait donc être de toute façon négative » remarque MASCART, « dans le cas même où le degré d'approximation des mesures eut été suffisant pour mettre en évidence les changements de réfraction qu'il s'agissait de constater » (8). A l'époque, partisan lui aussi de la théorie corpusculaire, le futur membre du gouvernement provisoire de 1848 donne du résultat l'explication suivante : « Il semble... qu'on ne peut en rendre raison qu'en supposant que les corps lumineux émettent des rayons avec toute sortes de vitesses, pourvu qu'on admette également que ces rayons ne sont visibles que lorsque leurs vitesses sont comprises entre des limites déterminées. Dans cette hypothèse, en effet, la visibilité des rayons dépendra de leurs vitesses relatives, et, comme ces mêmes vitesses déterminent la quantité de la réfraction, les rayons visibles seront toujours également réfractés » (9).

FRESNEL ET « L'ENTRAÎNEMENT PARTIEL DE L'ETHER ».

En septembre 1818, la théorie ondulatoire de FRESNEL, sans être complètement terminée (10) a déjà remporté un assez grand nombre de succès. Le manuscrit de son grand Mémoire sur la diffraction a été déposé le 29 juillet de la même année à l'Académie. Celle-ci le couronnera l'année suivante. Devenue trop imprécise, la définition donnée par HUYGENS de l'éther demande à être précisée. Pour cela, il faut notamment à FRESNEL essayer de résoudre les problèmes auxquels s'est heurtée jusqu'alors l'hypothèse ondulatoire. Parmi ces derniers figurent les deux questions évoquées dans le paragraphe précédent. Sa tentative de réponse figure dans une lettre expédiée à son protecteur ARAGO, lettre qui est publiée en septembre 1818 dans les Annales de chimie et de physique (11).

L'éther était censé baigner tous les corps transparents, ainsi que le vide, la lumière se propageant dans ce dernier. Sa densité aurait varié selon les milieux, ce qui expliquerait la réfraction. En supposant qu'il ne pénétrât pas les corps célestes (les planètes, les comètes..., etc.), sa résistance aurait dû être extrê-

(8) E. MASCART, op. cité note (5), p. 97-98.

(9) F. ARAGO, op. cité note (6), p. 563.

(10) Elle reste encore, pour l'essentiel, proche de celle de HUYGENS : voir notre note (3).

(11) « Lettre d'Augustin FRESNEL à François ARAGO sur l'influence du mouvement terrestre dans quelques phénomènes d'optique » (dans : « Œuvres complètes d'Augustin Fresnel », t. II, Paris, 1868, p. 627-639).

mement faible pour qu'il ne les freinât pas dans leur mouvement (12).

FRESNEL écarte dès l'abord cette dernière hypothèse : « Si l'on admettait que notre globe imprime son mouvement à l'éther dont il est enveloppé, on concevrait aisément pourquoi le même prisme réfracte toujours la lumière de la même manière, quel que soit le côté d'où elle arrive. Mais il paraît impossible d'expliquer l'aberration des étoiles dans cette hypothèse : *je n'ai pu, jusqu'à présent du moins, concevoir nettement ce phénomène qu'en supposant que l'éther passe librement au travers du globe, et que la vitesse communiquée à ce fluide subtil n'est qu'une petite partie de celle de la terre, n'en excède pas le centième, par exemple (*)*.

Quelque extraordinaire que paraisse cette hypothèse au premier abord, elle n'est point en contradiction, ce me semble, avec l'idée que les plus grands physiciens se sont faite de l'extrême porosité des corps...

L'opacité de la terre n'est (donc) pas une raison suffisante pour nier l'existence d'un courant d'éther entre ses molécules, et l'on peut la supposer assez poreuse pour qu'elle ne communique à ce fluide qu'une très petite partie de son mouvement.

A l'aide de cette hypothèse, le phénomène de l'aberration est aussi facile à concevoir dans la théorie des ondulations que dans celle de l'émission ; car il résulte du déplacement de la lunette pendant que la lumière la parcourt : or, d'après cette hypothèse, les ondes lumineuses ne participant point sensiblement au mouvement de la lunette, que je suppose dirigée vers le lieu vrai de l'étoile, l'image de cet astre se trouve en arrière du fil placé au foyer de l'oculaire, d'une quantité égale à celle que parcourt la terre pendant que la lumière parcourt la lunette ()* » (13) [(*) souligné par nous, J. R.]. Des considérations similaires permettent d'expliquer l'expérience d'ARAGO.

Rappelons que FRESNEL visait à bâtir une théorie *mécanique* de la lumière. Ses développements relatifs à la réflexion et à la réfraction sont, entre autres, basés sur le théorème des forces vives. Le problème de l'entraînement de l'éther, il le traite comme celui du mouvement du centre de gravité d'un quel-

(12) NEWTON, très dubitatif quant à l'existence de ce milieu, avait calculé qu'il eut dû être 60 000 000 de fois moins résistant que l'eau pour que cela fut possible (I. NEWTON : « Traité d'Optique », rééd., Paris, 1955, p. 422-425.

(13) A. FRESNEL, op. cité note (11), p. 628-629.

conque système. FIZEAU traduit (14) la thèse de FRESNEL de la façon suivante : « On sait que le phénomène ordinaire de la réfraction, est dû à ce que la lumière se propage avec moins de vitesse dans l'intérieur des corps que dans le vide. FRESNEL admet que le changement de vitesse a lieu, parce que l'éther possède une densité plus grande dans l'intérieur des corps que dans le vide. Or, pour deux milieux, dont l'élasticité est la même et qui ne diffèrent que par leurs densités, les carrés des vitesses de propagation sont en raison inverse des densités ; on aura donc,

$$\frac{D'}{D} = \frac{v^2}{v'^2}.$$

D et D' étant les densités de l'éther, dans le vide et dans le corps, v et v' les vitesses de propagation correspondantes ; par conséquent,

$$D' = D \frac{v^2}{v'^2} \quad \text{et} \quad D' - D = \frac{v^2 - v'^2}{v'^2}.$$

Cette dernière expression donne l'excès de densité de l'éther intérieur.

Si le corps est mis en mouvement, on admet qu'une partie seulement de l'éther intérieur est entraînée, et que cette partie est celle qui constitue l'excès de sa densité sur l'éther environnant, la densité de cette partie mobile est donc $D' - D$. L'autre partie, qui reste immobile pendant le mouvement, a une densité égale à D.

Quelle doit être maintenant la vitesse de propagation des ondes dans un milieu ainsi constitué d'une partie en mouvement et d'une partie immobile, en supposant, pour plus de simplicité, que le corps se meuve dans le sens de la propagation des ondes ?

FRESNEL considère la vitesse que prend alors le centre de gravité du système, comme s'ajoutant à la vitesse de propagation des ondes.

u étant la vitesse du corps, $u \left(\frac{D' - D}{D'} \right)$ sera la vitesse du

centre de gravité du système, et, d'après ce qui précède, cette expression sera égale à :

$$u \left(\frac{v^2 - v'^2}{v'^2} \right)$$

(14) Nous donnons l'énoncé de FIZEAU pour éviter de modifier ensuite les notations. Le texte de FRESNEL est [voir la lettre à ARAGO citée note (11)], à la forme près, identique.

Telle est la quantité dont la vitesse de propagation des ondes devra être augmentée.

Ainsi la vitesse de propagation étant v' dans l'état de repos, on aura pour le mouvement :

$$v' \pm u \left(\frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right) \quad (15).$$

Même si les développements de FRESNEL apparaissent discutables, ses « considérations... insuffisantes... » (16) et que l'on admette que « ...la formule à laquelle il est parvenu par une heureuse intuition (*) n'a qu'un caractère empirique (*)... » (17), sa formule qui traduit « l'entraînement partiel » de l'éther est restée et, en 1851, c'est d'elle dont s'inspire FIZEAU [(*) souligné par nous, J. R.].

LE MONTAGE DE FIZEAU.

Le physicien reprend l'énoncé des trois hypothèses plausibles sur les rapports de la « matière pondérable » et de l'éther. « Ou l'éther est adhérent et comme fixé aux molécules du corps,

(15) H. FIZEAU : « Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux, et sur une expérience qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur (C. R. de l'Acad. des Sci., 1851, t. XXXIII, p. 349-355).

Il ne s'agit là que d'un extrait du Mémoire présenté. La totalité a été publiée en 1859 par les Annales de chimie et de physique. C'est à ce dernier texte que nous nous référerons :

H. FIZEAU : « Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux et sur une expérience qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur » (Ann. de chim. et de phys., 1859, déc., t. LVII, p. 396-397).

$$\begin{aligned} \text{L'indice } n = \frac{v}{v'} &= \sqrt{\frac{D'}{D}}. \text{ Et : } D' - D = (n^2 - 1) \cdot D \\ &= \left(\frac{v^2}{v'^2} - 1 \right) \cdot D. \end{aligned}$$

FRESNEL admet, ce faisant, que le corps en mouvement n'entraîne que l'excès de l'éther qu'il contient sur celui du vide (voir aussi E. MASCART, op. cité note (5), p. 98).

(16) E. MASCART, op. cité note (5), p. 99.

(17) E. MASCART, p. 99. A noter cependant que l'ouvrage de MASCART a été publié en 1892.

et partage par conséquent les mouvements qui peuvent être imprimés à ce corps.

Ou bien l'éther est libre et indépendant, et n'est pas entraîné par le corps dans ses mouvements.

Ou enfin, par une troisième supposition qui participe de l'une et de l'autre, une portion seulement de l'éther serait libre, l'autre portion serait fixée aux molécules du corps et partagerait seule ses mouvements » (18). Et FIZEAU note que, bien que la troisième hypothèse ait permis à FRESNEL d'expliquer « ... avec une admirable précision... » l'aberration de BRADLEY et le résultat de l'expérience d'ARAGO, elle « ... n'est pas regardée aujourd'hui comme une vérité démontrée, et... les rapports de l'éther avec la matière pondérable sont encore considérées généralement comme incertains et très obscurs » (19).

Il remarque que, selon la supposition faite, la vitesse de la lumière traversant le corps en mouvement est différente :

- dans le premier cas, elle est « ... augmentée de toute la vitesse du corps, le rayon étant supposé dirigé dans le sens du mouvement » (20),
- dans le second, elle est inchangée,
- dans le troisième, elle est « ... augmentée, mais d'une fraction seulement de la vitesse du corps... Cette conséquence n'est pas aussi évidente que les deux précédentes, mais *Fresnel a fait voir qu'elle peut être appuyée sur des considérations mécaniques très probables (*)* » (21) [(*) souligné par nous, J. R.].

FIZEAU se propose alors, en utilisant une méthode d'observation due à ARAGO, « ... fondée sur les interférences, et qui est propre à mettre en évidence les plus petites variations dans les indices de réfraction des corps » (22), « ... de soumettre à une épreuve décisive deux milieux, l'air et l'eau, qui, à cause de la mobilité de leurs parties, peuvent être facilement animés de grandes vitesses » (23).

Le principe de l'expérience est le suivant : deux faisceaux lumineux parcourent deux tubes parallèles — dans lesquels on

(18) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 385-386.

(19) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 386.

(20) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 386.

(21) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 387.

(22) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 387.

(23) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 387.

peut faire circuler, en sens opposés et à grandes vitesses, de l'air et de l'eau — et interfèrent ensuite. On observe si le mouvement des milieux réfrigérants produit un déplacement des franges d'interférences. La réalisation du montage a posé à FIZEAU divers problèmes qu'il a résolus grâce à l'astucieux dispositif que nous allons décrire.

La source initiale est une fente F qui émet un faisceau qui se réfléchit sur un miroir sans tain m , incliné à 45° sur l'axe d'une lunette L_1 , de telle manière que le faisceau réfléchi paraisse provenir du foyer objet O de la lentille l_1 (fig. 2). Après traversée de cette dernière, le faisceau émergent est donc parallèle à son axe. Il rencontre un écran opaque E , percé de 2 fentes F_1 et F_2 ,

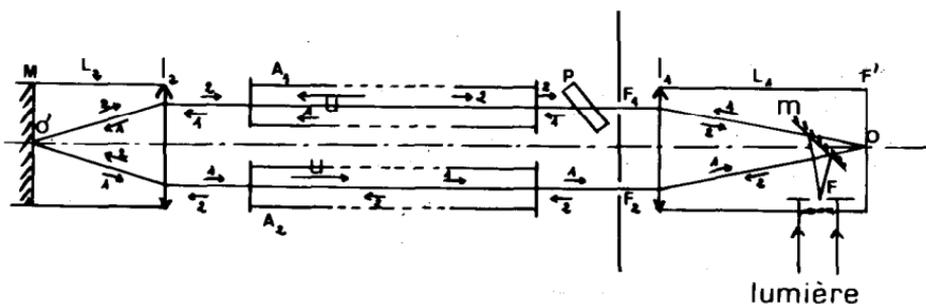


Fig. 2

disposées symétriquement par rapport à l'axe. L'un des faisceaux — celui qui est issu de F_1 , par exemple — traverse une lame à faces parallèles épaisse. L'un et l'autre pénètrent dans deux tubes A_1 et A_2 , parcourus par des courants d'eau, circulant à une même vitesse u , mais en sens opposés. A la sortie des tubes, ils sont reçus par une lunette L_2 , constituée d'une lentille l_2 dont l'axe est le même que celui des éléments précédents et d'un miroir M , perpendiculaire à cet axe au foyer image O' de l_2 .

Le trajet des rayons est le suivant :

- celui qui provient de F_1 , traverse P , puis A_1 dans le même sens que celui du déplacement de l'eau. Il est focalisé par l_2 , se réfléchit sur M . l_2 le rend à nouveau parallèle à l'axe. Il traverse A_2 à nouveau dans le même sens que l'eau, et est enfin focalisé par l_1 en O (trajet $\overset{1}{\rightarrow}$);
- celui qui provient de F_2 , traverse A_2 dans le sens opposé à celui du déplacement de l'eau, est focalisé par l_2 , réfléchi par

(24) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 388.

M, et traverse A_1 à nouveau *en sens inverse du déplacement de l'eau*. Il franchit ensuite P et est lui aussi focalisé en O (trajet \rightarrow).

La superposition des 2 faisceaux dans le plan F' produit une figure d'interférences, que l'on peut mieux observer grâce à un oculaire.

La longueur de A_1 et A_2 est, dans l'expérience de FIZEAU, de 1,487 m. Si chaque faisceau n'avait traversé que l'un d'entre eux « ... il était à craindre, écrit l'auteur, « que quelque différence de température ou de pression entre les deux tubes, donnât naissance à un déplacement considérable des franges, lequel aurait pu masquer complètement le déplacement dû au mouvement ». Au contraire, dans le schéma adopté, les deux faisceaux suivent des trajets identiques, au sens de propagation près, ce qui élimine le risque perçu. De plus, le chemin des rayons étant de ce fait doublé, l'effet du mouvement du milieu réfringent contenu dans les tubes l'est également. La lame P permet, selon son inclinaison, d'élargir à volonté les franges d'interférences. Le courant est réalisé grâce au dispositif représenté fig. 3 (25).

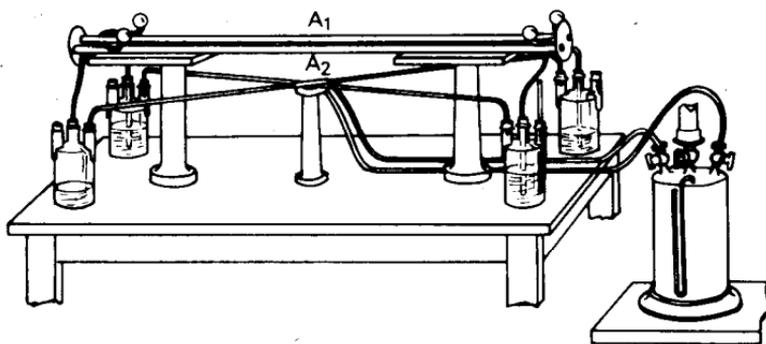


Fig. 3

RESULTATS EXPERIMENTAUX.

FIZEAU avait pris nombre de précautions pour éviter que des phénomènes parasites puissent dénaturer ses résultats. Dans les tubes de verre (diamètre intérieur : 5,3 mm), la lumière circulait bien suivant l'axe, « ... et non près des bords ». La distance des

(25) Nous empruntons cette figure à MASCART (op. cité note (5), fig. 329, p. 103). FIZEAU se contente en effet de la description du système, sans en donner le schéma.

fentes F_1 et F_2 était de 9 mm, les deux tubes « ... étaient fermés à chaque extrémité par une seule glace, fixée avec de la gomme laque, dans une position perpendiculaire à la direction commune » (26). La lumière utilisée avait pour longueur d'onde 0,526 μ . L'oculaire, destiné à l'observation des franges, était muni d'un micromètre situé dans son plan focal. La vitesse du courant d'eau était de 7 m/s et l'expérimentateur avait vérifié préalablement qu'une modification accidentelle de la pression ou de la température dans l'un des tubes n'apportait aucune perturbation sensible.

FIZEAU repérait d'abord la position des franges, l'eau étant immobile. Il recommençait ensuite, l'eau se déplaçant avec la vitesse $u = 7,059$ m/s. La valeur moyenne du déplacement de la figure d'interférence était de 0,23016 frange (27).

Il lui restait à confronter ces mesures aux résultats obtenus par le calcul dans les différentes hypothèses citées au précédent paragraphe. L'existence d'un déplacement sensible des franges permet d'éliminer immédiatement la seconde. La première sup-

(26) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 389.

(27) Tableau donné par FIZEAU :

« Valeurs du déplacement des franges pour une vitesse moyenne de l'eau égale à 7,059 m en une seconde	Différences entre les valeurs observées et la valeur moyenne
0,200	— 0,030
0,220	— 0,010
0,240	+ 0,010
0,167	— 0,063
0,171	— 0,059
0,225	— 0,005
0,247	+ 0,017
0,225	— 0,005
0,214	— 0,016
0,230	0,000
0,224	— 0,006
0,247	+ 0,017
0,224	— 0,006
0,307	+ 0,077
0,307	+ 0,077
0,256	+ 0,026
0,240	+ 0,010
0,240	+ 0,010
0,189	— 0,041
<hr/>	
Somme	4,373
Moyenne	0,23016 »

H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 392.

pose « ...l'éther... mis en mouvement avec une vitesse égale à celle de l'eau... » (28). Dans ce cas, le calcul donnait à FIZEAU un déplacement de 0,46 frange, donc environ le double du résultat expérimental. Conclusion du physicien : « Il est évident que cette hypothèse est en désaccord avec l'expérience » (29). En se basant, au contraire, sur la théorie de FRESNEL, il obtenait 0,222 frange (30), soit une valeur peu différente de la valeur mesurée. Il corrigeait encore cette dernière, en modifiant le nombre retenu pour la vitesse de l'eau. Il avait en effet précédemment pris sa valeur moyenne dans les tubes, ce qui, écrit-il, était valable « ... pour l'écoulement de l'eau dans les canaux ouverts... » (31). Il importe ici de considérer que, les tubes étant fermés, la vitesse est plus grande au centre que sur les bords. Introduisant un coefficient rectificatif établi « par analogie », FIZEAU obtenait, selon la valeur retenue pour ce coefficient, un déplacement de : 0,22 ; 0,23 et 0,24 frange. D'où il déduit : « On voit que la correction tend, selon toutes les probabilités, à rapprocher encore le résultat calculé du résultat observé. Il est donc présumable, que la faible différence qui existe entre les deux valeurs, dépend d'une petite erreur sur la vitesse réelle de l'eau, erreur que l'on ne peut corriger d'une manière satisfaisante, faute de données suffisamment précises.

Ainsi, le déplacement des franges par l'effet du mouvement de l'eau, et la quantité dont elles se déplacent, s'expliquent d'une manière satisfaisante au moyen de la théorie de Fresnel () » (32) [(*) souligné par nous, J. R.].*

Par contre, écrit FIZEAU, « J'avais constaté, que le mouvement de l'air, ne produit aucun déplacement sensible dans les franges » (33). Il avait obtenu ce résultat, antérieurement à ses expériences sur l'eau, grâce à un montage qui ne permettait pas d'éviter les effets accidentels (34). Reprenant ses essais sur un dispositif inspiré par celui précédemment décrit, le physicien en arriva toutefois à la même conclusion négative. Le calcul lui donna alors, dans le cas d'un entraînement absolu de l'éther un déplacement de 0,4103 frange, dans le cas d'un entraînement partiel de 0,000 2325 frange, inobservable dans cette dernière hypo-

(28) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 395.

(29) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 396.

(30) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 398.

(31) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 399.

(32) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 399-400.

(33) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 390.

(34) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 400-401.

thèse. D'où sa déduction : « Ainsi la théorie de FRESNEL, permet d'expliquer l'immobilité apparente des franges dans l'expérience faite avec l'air en mouvement ; le déplacement des franges ne serait pas nul en réalité, mais tellement faible, qu'il ne saurait être aperçu » (35).

De la conclusion de Fizeau aux expériences de Michelson et Morley.

Le physicien termine son Mémoire par le passage suivant : « *Le succès de cette expérience me semble devoir entraîner l'adoption de l'hypothèse de Fresnel, ou du moins de la loi qu'il a trouvée, pour exprimer le changement de la vitesse du mouvement de la lumière par l'effet du mouvement des corps (*)* ; car bien que, cette loi se trouvant véritable, cela soit une preuve très forte en faveur de l'hypothèse dont elle n'est qu'une conséquence, peut-être la conception de FRESNEL paraîtra si extraordinaire et sous quelques rapports si difficile à admettre que l'on exigera d'autres preuves encore et un examen approfondi de la part des géomètres, avant de l'adopter comme l'expression de la réalité des choses » (36) [(*) souligné par nous, J. R.].

La conclusion de FIZEAU est relativement prudente, et ce, à juste titre. L'hypothèse de FRESNEL repose en effet sur l'existence de l'éther. *L'expérience de 1851 prouve que le mouvement d'un milieu réfringent modifie la vitesse de la lumière qui s'y propage, et que la modification vérifie la formule établie par Fresnel. Mais elle ne prouve que cela et rien ne permet d'en déduire valablement une confirmation incontestable de la réalité de l'éther.* La validité de la vérification de FIZEAU n'est pas en cause. La formule de FRESNEL a ensuite été ré-établie, de manière plus satisfaisante que par la démonstration initiale, par POTIER en 1876 (37). L'expérience de FIZEAU a été reprise, d'abord par HOECK en 1868 (38), puis — à l'aide d'un montage de dimensions beaucoup plus importantes — par MICHELSON et MORLEY en 1886 (39). Les

(35) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 402.

(36) H. FIZEAU, op. cité note (15), p. 403-404.

(37) A. POTIER : « De l'entraînement des ondes lumineuses par la matière pondérale en mouvement » (Journ. de phys., av. 1876, t. 5, p. 105-108).

(38) Voir :

— H. BOUASSE : op. cité note (5), p. 92-93.

— M.-A. TONNELAT : « Histoire du Principe de relativité » (Paris, 1971, p. 88-90).

(39) A.-A. MICHELSON et E.-W. MORLEY : « Influence of Motion of the Medium on the Velocity of Light » (American Journ. of Sci., janv.-juin 1886, vol. 31, nos 186-186, p. 377-386).

deux physiciens américains vérifient la formule de FRESNEL à moins de 1/100^e près. En 1914, P. ZEEMAN confirme le résultat avec plus encore de précision. Le milieu réfringent en déplacement est, cette fois, une règle de quartz en mouvement très rapide (40). Sans pour autant que l'existence de l'éther s'en trouve établie. Et l'on connaît le résultat négatif des autres expériences de MICHELSON et MORLEY et les conséquences qu'elles ont eues par la suite. Ce qui n'a pas empêché BOUASSE (farouchement opposé à la théorie de la relativité jusqu'à la fin de sa vie) d'écrire encore en 1925 en conclusion de ses chapitres sur la propagation de la lumière dans les corps en mouvement et sur l'aberration : « A notre éther hypothétique rien n'interdit d'imposer telles propriétés que nous voulons, pourvu qu'elles ne soient pas contradictoires.

Ce qui précède montre que l'explication des phénomènes n'exige pas les hypothèses *incompréhensibles* (*) de la théorie de la relativité » (41) [(*) souligné par l'auteur].

Dans la démarche de FIZEAU, toutefois, un élément me choque quelque peu. Au début de son Mémoire, en 1859, il cite en énumérant les bases du raisonnement de FRESNEL : « ... une expérience célèbre de M. ARAGO, par laquelle il avait démontré que le mouvement de la terre est sans influence sur la valeur de la réfraction que la lumière des étoiles subit dans un prisme » (42). Ses travaux, sur le changement apparent de fréquence de la lumière dû au mouvement relatif de la source et de l'observateur, datent — nous l'avons dit précédemment — de 1848. En 1851, à plus forte raison en 1859, il sait donc obligatoirement que si, compte tenu des conditions expérimentales, le résultat négatif d'ARAGO s'explique, sa conclusion, par contre, est nécessairement erronée. Si l'expérience, comme l'écrit MASCART en 1892, « ... conserve cependant un grand intérêt historique parce qu'elle a suggéré à FRESNEL... etc. » (43), elle n'a plus en 1851 que ce seul mérite. ARAGO, lui-même, annonce d'ailleurs en 1853 qu'il ne la publie que parce que « Depuis cette époque (1810), ce travail... » est « ... devenu le point de départ des recherches expérimentales et théoriques qui ont été faites ou projetées dans divers pays, sur l'état dans lequel se trouve l'éther dans les corps solides... » (44). Il faut d'ailleurs remarquer que, dans l'article publié en 1853, ARAGO ne reprend nulle part de formulation de type de

(40) Voir M.-A. TONNELAT, op. cité note (38), p. 84.

(41) Op. cité note (5), p. 121.

(42) Op. cité note (15), p. 386.

(43) E. MASCART, op. cité note (5), p. 98.

(44) F. ARAGO, op. cité note (6), p. 548.

celle de FIZEAU, citée précédemment (45). Il relate les expériences faites, esquisse une tentative d'explication basée sur l'hypothèse corpusculaire, mais n'énonce pas la conclusion qui est restée dans l'histoire de l'optique et que nous trouvons aussi — bien avant FIZEAU, donc — sous la plume de FRESNEL au début de sa lettre à ARAGO : « Par vos belles expériences sur la lumière des étoiles, vous avez démontré que le mouvement du globe terrestre n'a aucune influence sensible sur la réfraction des rayons qui émanent de ces astres » (46). Diverses suppositions sont possibles. Ou bien, les disciples d'ARAGO ont traduit de façon schématique une conclusion qu'il s'était contenté de suggérer implicitement. Ce ne serait pas invraisemblable, de tels faits étant courants (47). Ou bien, ARAGO n'a pas vraiment « retrouvé » le Mémoire original ; il l'a reconstitué, à partir des résultats conservés, mais en tenant compte (consciemment ou inconsciemment) de certains éléments de l'évolution survenue en optique et en astronomie depuis 1810. Ou bien encore, il a quelque peu... transformé ce Mémoire, pour supprimer une conclusion devenue de toute évidence erronée.

Quelle que soit la réponse concernant ARAGO, l'on ne comprend pas la phrase de FIZEAU. Ses travaux, suite à ceux de DÖPPLER, montrent entre autres que la conclusion, tirée de l'échec de l'expérience de 1810, est fautive. FIZEAU devait avoir d'excellentes relations avec le vieux maître. N'avait-il pas, en 1849, mesuré la vitesse de la lumière, grâce à une méthode proposée par ARAGO, et que ce dernier n'avait pu lui-même mettre en pratique par suite de l'affaiblissement de sa vue (48). Et il s'inspire aussi de ses travaux pour imaginer l'expérience ici décrite. En 1851, ARAGO vivait encore (49) et il se peut que son élève n'aie pas voulu le chagriner en soulignant son erreur. Il aurait toutefois pu rectifier ses termes en 1859. Ils ne sont, par exemple, pas repris par BILLET dont le livre avait été édité un an auparavant (50).

Jean ROSMORDUC,

(Université de Bretagne Occidentale).

(45) Voir note (42).

(46) Op. cité note (11), p. 627.

(47) Voir, par exemple, l'interprétation de l'optique newtonienne par les disciples de NEWTON, au XVIII^{me} et au début du XIX^{me} siècle.

(48) Voir notre article : « Les mesures optiques de la vitesse de la lumière au XIX^{me} siècle » (dans : « ROEMER et la vitesse de la lumière », ouv. coll., Paris, 1978, p. 247-263).

(49) Il est mort le 2 octobre 1853.

(50) Voir : F. BILLET : « Traité d'Optique physique » (t. I, Paris, 1858, p. 86 et 90-92).