

p h y s i q u e

La vérité sur les expériences
de Michelson, Morley et Miller

Les fondements de la Relativité ébranlés

LAURENCE HECHT

Dans l'article de Maurice Allais, le prix Nobel d'économie, paru dans le n° 69 de Fusion et intitulé « Les expériences de Dayton C. Miller 1925-1926 et la théorie de la relativité », il était entre autres question des célèbres expériences du physicien américain Dayton C. Miller (1866-1941). Nous pensons utile d'attirer l'attention de nos lecteurs sur ces importants travaux réalisés dans les trois premières décennies de ce siècle, ainsi que sur la théorie physique sur laquelle ils reposent. Bien entendu, nos interprétations peuvent ne pas être identiques en tout point à celles de M. Allais.

Pour comprendre la signification révolutionnaire des mesures de Dayton C. Miller sur le mouvement de l'éther, nous devons nous replonger dans les découvertes originales de Fresnel sur la théorie ondulatoire de la lumière et sur ses développements au cours du XIX^e siècle.

1. ORIGINE DE LA THÉORIE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE

En 1827, Augustin Fresnel meurt à l'âge de 39 ans. Cette date marque également la fin de l'hégémonie qu'avait connu la théorie de la lumière d'Isaac Newton pendant tout le siècle précédent. L'attaque contre l'*Optique* de Newton fut d'abord lancée en Angleterre même, avec comme base les travaux du génie très controversé Thomas Young. C'est Augustin Fresnel qui donna le coup de grâce en menant un effort expérimental et théorique qu'il poursuivit pendant les treize dernières années de sa vie.

Newton prétendait que les principaux phénomènes optiques, tels que la réfraction d'un rayon lumineux qui passe d'un milieu à un autre, ou sa diffraction (le rayon est dévié lorsqu'il passe à proximité d'objets de petite taille), pouvaient être expliqués à partir d'une théorie de l'attraction cohérente avec son hypothèse de l'attraction universelle. Selon Newton, les rayons lumineux seraient des trains de corpuscules très petits qui, lorsqu'ils s'approchent d'objets, sont attirés par ces derniers en raison de leur masse. L'une des conséquences de cette théorie est que la lumière devrait se déplacer à une plus grande vitesse dans des substances plus denses que l'air, comme l'eau ou le verre. Ce n'est qu'au milieu du XIX^e siècle que l'on fut en mesure de prouver que c'est le contraire qui est vrai.

Pendant, Young et Fresnel avaient démontré bien avant cela le caractère erroné de l'optique newtonienne, en concentrant leurs efforts sur le phénomène de la diffraction, plus subtil que la réfraction.

Lorsqu'on dirige un faisceau lumineux monochromatique vers un objet très étroit (un cheveu ou la lame d'un couteau, par exemple) ou quand on le fait passer à travers une fente, et que l'on observe précisément avec des lentilles grossissantes sa projection sur un écran blanc, on constate la présence de bandes parallèles alternativement sombres et claires. Young expliqua ces *franges d'interférence* — comme on les appela dès lors — en

s'inspirant de la théorie ondulatoire de la lumière que Christiaan Huygens, maître et collaborateur de Leibniz, avait proposée dans son *Traité de la lumière* de 1678.

Selon Huygens, une certaine substance — appelée *éther* — composée sans doute de minuscules particules invisibles, remplit tout l'espace et la matière qu'il contient. D'après cette théorie, la propagation de la lumière est conçue comme une perturbation ondulatoire de cet éther, analogue en quelque sorte au passage d'une vague à la surface de l'eau (Léonard de Vinci fut le premier à proposer cette analogie entre les ondes lumineuses ou sonores et les vagues qui présentent ce phénomène d'interférences). Une source lumineuse sans obstacle enverrait ainsi de la lumière dans toutes les directions, formant un front d'onde sphérique en expansion.

Ces franges sombres ou claires que l'on peut distinguer sur un écran placé derrière une lame de couteau, par exemple, Young les décrit comme les lieux de rencontre des ondes lumineuses provenant directement de la source et celles légèrement déviées par le bord de la lame. Ayant parcouru un trajet légèrement plus long, les rayons déviés (*diffractions*) seraient ainsi dans une *phase* différente de celle des rayons provenant directement de la source lumineuse. (Il est plus facile de comprendre le concept de *phase* en utilisant l'analogie avec les vagues. Si deux vagues, telles que celles provenant du sillage de deux bateaux à moteur, se croisent alors qu'elles sont toutes les deux à leur amplitude maximale (à leur crête), la vague résultant de leur combinaison momentanée sera plus haute que chacune d'entre elles. En revanche, si les deux vagues se croisent au moment où l'une est à son pic et l'autre à son creux, leur combinaison momentanée va annuler l'effet de chacune donnant à l'eau une surface plane. Ces effets s'appellent respectivement *interférence additive* et *interférence soustractive*.)

Grâce à des observations rigoureuses, Young estima la longueur d'une onde lumineuse avec une précision remarquable et expliqua en détail différents phénomènes de diffraction, parmi lesquels les franges produites par des plateaux minces séparés par de l'air ou un liquide transparent. Sa réussite dans l'élaboration d'une théorie ondulatoire prenant en compte

ces phénomènes complexes est d'autant plus remarquable qu'il travaillait pratiquement seul, dans un pays fanatiquement engagé à défendre le système de Newton. Après avoir publié ses premiers écrits, dans lesquels il critique Newton, Young devient la cible d'une attaque virulente de la part de Henry Brougham, le futur lord chancelier d'Angleterre, dans le journal *Edinburgh Review*. L'attaque fut si efficace que lorsque Young tenta d'y répondre dans un pamphlet, il n'en vendit qu'une seule copie...

Fils d'une riche famille de commerçants quakers de Somersetshire, Young fut un mathématicien précoce. Jeune adolescent, il maîtrisait déjà huit langues et certains diront plus tard qu'il pouvait jouer correctement de tous les instruments de l'orchestre. Après avoir étudié un an à l'université de Göttingen en 1795, il rentra en Angleterre pour obtenir un diplôme de docteur en médecine. Ses premiers travaux, qui portaient sur la fonction des lentilles cristallines de l'œil dans l'accommodation, l'engagèrent dans une controverse avec les autorités en la matière. Il écrivit des articles en mécanique, géométrie, histoire naturelle ainsi que sur la conception de machines. Il s'attaqua également au déchiffrement des hiéroglyphes égyptiens en contribuant de façon considérable à ce domaine.

Fresnel relance le principe de Huygens

Entre 1814 et 1818, les développements de la théorie ondulatoire se poursuivirent en France, où les chercheurs, grâce aux ressources importantes de l'École polytechnique et aux cent cinquante années de tradition leibnizienne, portèrent naturellement leur attention sur ce problème. Augustin Fresnel, déjà en relation étroite avec André-Marie Ampère pour des questions de théologie et de philosophie naturelle, s'attaqua au problème à partir de 1814.

Fresnel naquit le 10 mai 1788 à Broglie en Normandie. Au moment de la Révolution, son père ne pouvant continuer son travail d'architecte dans le port de Cherbourg, la famille dut déménager dans une petite ville près de Caen où le jeune



Thomas Young (1773-1829). Grâce à des observations rigoureuses, Young estima la longueur d'une onde lumineuse avec une précision remarquable et expliqua en détail différents phénomènes de diffraction, parmi lesquels les franges produites par des plateaux minces séparés par de l'air ou un liquide transparent.

Fresnel sera élevé et scolarisé. Il ne manifestait pas de goût particulier pour les langues et rien ne le différenciait des autres élèves dans ses premières années. Cependant, ses talents scientifiques s'épanouirent très tôt. Il fabriqua, par exemple, des arcs si puissants pour les jeux de guerre d'enfants que les parents du voisinage durent les confisquer. Ses amis d'enfance l'appelaient le « génie ».

Fresnel entra à l'École polytechnique à Paris à l'âge de 16 ans. Sa santé précaire ne l'empêcha pas de se distinguer en géométrie, à tel point qu'il reçut les compliments publics du célèbre Legendre. Il occupa pendant dix ans un emploi modeste d'ingénieur de génie civil affecté au corps des Ponts et Chaussées. Son travail en optique débuta en 1814, l'année où il se rallia à la Restauration. Il fut un opposant si véhément au bref retour de Napoléon en 1815, qu'il fut écarté de son poste pendant les Cent-Jours, bien qu'étant autorisé à demeurer à Paris. Entre ce moment et 1824, et malgré des crises périodiques, il révolutionna la science physique par ses travaux en optique. La maladie le força pourtant à abandonner toute recherche scientifique en 1824, mis à part un projet mené à bien pour réaliser un nouveau type de lentilles de phare. Il mourut en 1827, âgé de seulement 39 ans.

En 1816, François Arago, qui menait alors des expériences en collabo-

ration avec Fresnel, rendit visite à Young en Angleterre afin de discuter des interprétations possibles de la polarisation. Vers 1818, Fresnel réalisa une découverte qui porta la théorie ondulatoire au-delà de ce que Young avait accompli. Il s'aida pour cela d'une hypothèse concernant la propagation de la lumière que Huygens avait proposée plus d'un siècle auparavant, et dont toutes les implications restent aujourd'hui encore à explorer.

En examinant plus précisément les conditions dans lesquelles des franges d'interférence sont produites par l'interposition d'une fente ou d'un petit objet sur le trajet de la lumière, Fresnel comprit qu'il ne suffisait pas de considérer les franges comme le simple résultat de l'interaction entre les rayons directement issus de la source et ceux défléchis par la petite obstruction. Il fallait plutôt supposer que chaque point du front d'onde se comporte comme une source indépendante reproduisant la perturbation initiale que nous appelons lumière. De nouveaux fronts d'onde sphérique sont ainsi engendrés à partir de chaque point de l'espace entourant une source lumineuse. Si aucun obstacle n'est rencontré, la lumière de ces nouvelles sources sphériques va poursuivre son chemin vers l'avant, le long des mêmes lignes radiales, tandis que les rayons dirigés vers l'arrière seront annulés par des

effets d'interférence.

Imaginons maintenant que le front d'onde sphérique doive passer à travers une petite ouverture sur un écran (**Figure 1**). Appelons AG la petite ouverture par laquelle passe la lumière issue de C. Le point P représente le point le plus sombre de la bande noire de la frange d'interférence qui se forme sur l'écran BD. Selon l'interprétation de Young, l'obscurité est produite par la rencontre de deux rayons extrêmes, AP et GP, dont la différence de longueur correspond à une demi-longueur d'onde (c'est-à-dire à un maximum de différence de phase ou, par analogie avec les vagues, à l'endroit où la crête rencontre le creux).

Toutefois, une expérimentation plus précise permit à Fresnel de voir que le point le plus sombre de la bande la plus sombre se trouvait là où la différence de longueur entre les rayons extrêmes, AP et GP, correspondait à une longueur d'onde entière. Si les deux rayons extrêmes étaient les seuls responsables du phénomène, ils interféreraient de manière additive pour produire un maximum de luminosité. En réfléchissant sur ce paradoxe, Fresnel aboutit à une nouvelle hypothèse combinant le principe d'interférence avec le principe de propagation de Huygens.

La lumière passant par l'ouverture AG constitue un très petit segment



Augustin Fresnel
(1788-1827)

du front d'onde sphérique provenant de C. Selon le principe de Huygens, à chaque point de ce segment, de nouvelles ondes sphériques secondaires sont engendrées et leur effet en P doit être pris en compte. Fresnel montre que c'est l'action de ces ondes secondaires qui produit l'interférence soustractive, d'où l'obscurité en P.

Pour comprendre ce phénomène, Fresnel nous suggère d'imaginer un autre rayon, PI, qui passe par le centre du segment AG. Du fait de son inclinaison sensible par rapport à l'arc (lorsque P tombe près du centre O, la frange d'interférence disparaît), PI est presque exactement la moyenne entre GP et AP. Etant donné que ceux-

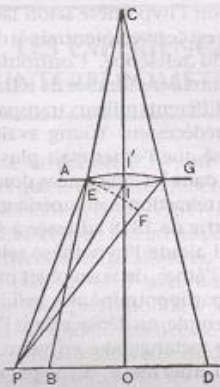
ci diffèrent d'une longueur d'onde entière, PI doit être exactement en opposition de phase avec chacun d'entre eux. Le résultat de l'interaction de PI avec GP et AP est une interférence soustractive en P et la même chose est vraie en ce qui concerne les paires de rayons secondaires provenant des deux moitiés de l'arc. Comme Fresnel le décrit dans le rapport de son « tour de force » expérimental : « Nous avons divisé l'arc en deux parties, dont les éléments correspondants sont presque exactement égaux et qui envoient au point P des vibrations en opposition de phase exacte, de telle sorte qu'elles s'annulent réciproquement. »¹

Dans des travaux ultérieurs, Fresnel établit la théorie de la réflexion et de la réfraction, de la polarisation ainsi que de la nature transversale des vibrations lumineuses, soulignant leur cohérence avec sa conception ondulatoire. Nombreux sont ceux qui s'intéressèrent à la manière dont Fresnel aborda la question de la double réfraction. On observe ce phénomène dans certains types de cristaux où deux rayons réfractés à des angles différents, un rayon ordinaire et un rayon extraordinaire, sont produits à partir d'un seul faisceau lumineux. Sa solution nécessitait la construction d'une surface géométrique du quatrième ordre pour décrire son hypothèse sur la distribution de densité de l'éther à l'intérieur d'un certain type de cristaux appelés biaxes. En 1832, le mathématicien irlandais William Rowan Hamilton estima que les points de discontinuité dans la surface de Fresnel devaient produire des singularités physiques dans la propagation des rayons lumineux passant à travers les cristaux — ce qui fut vérifié au cours des décennies ultérieures, confirmant ainsi avec une grande certitude la théorie de Fresnel.

Au cours de la deuxième moitié du XIX^e siècle, on assista à de nombreuses tentatives pour élaborer ce qu'on appela un « modèle dynamique » de l'éther de Fresnel. Il s'agissait en fait essentiellement d'une analogie mécanique (on imaginait, par exemple, que l'éther pouvait être un solide élastique semblable à un cristal), à partir de laquelle on pourrait déduire mathématiquement les équations décrivant le comportement de la lumière.

La principale faille d'une telle approche réside dans le fait qu'elle re-

Figure 1 - L'application par Fresnel de la théorie ondulatoire de Huygens



De la lumière monochromatique provenant de C et passant par la petite ouverture AG forme sur l'écran PBOD des bandes noires ou lumineuses appelées franges d'interférence. Augustin Fresnel appliqua le principe de Huygens de repropagation continue de la lumière pour expliquer ce phénomène.

pose sur l'idée incontestée que les processus de l'Univers peuvent s'inscrire dans le cadre d'une simple analogie mécanique. Fresnel s'opposa lui-même avec force à son antagoniste, Siméon Denis Poisson (1781-1840), qui s'aventura dans une telle voie. Comme Fresnel le souligna dans sa correspondance avec Poisson, l'éther de ce dernier n'était qu'une « *abstraction mathématique* » et non la chose réelle. Pour placer le débat à un autre niveau, on pourrait se demander pourquoi Dieu aurait construit un Univers tel que la propagation de la lumière puisse s'y expliquer par une analogie avec un fluide ou un simple cristal. Pour Fresnel, ainsi que pour ses alliés philosophiques tels qu'Ampère, ou Carl Gauss et Wilhelm Weber en Allemagne, dont les recherches parallèles en magnétisme et en électricité conduisaient à des paradoxes similaires², un tel réductionnisme n'était pas acceptable. Cependant, dans la génération de scientifiques suivant celle de Fresnel, seul Bernhard Riemann, de l'université de Göttingen, osa conduire une guerre totale contre les préjugés réductionnistes qui imprégnaient le débat scientifique. Riemann essaya avec toute son énergie d'élaborer une physique dont les fondements ne seraient pas une simple analogie mécanique ou une représentation formelle mathématique, mais le principe par lequel l'esprit humain engendre de nouvelles pensées³.

Malheureusement, les travaux de Riemann et de ses quelques associés furent marginalisés et, de ce fait, la recherche expérimentale mise en œuvre en optique s'appuya principalement, à partir de 1858, sur le point de vue beaucoup plus limité de James Clerk Maxwell. On fait quelquefois référence à ce point de vue comme étant celui de l'école anglaise, bien qu'il provienne au départ des principaux opposants français à Fresnel et à Ampère, c'est-à-dire Laplace, Poisson, Cauchy et Biot⁴.

2. LA QUESTION DU MOUVEMENT RELATIF

Un paradoxe surgissait régulièrement, ruinant ainsi les efforts pour élaborer une théorie cohérente de la

propagation de la lumière. Il concernait le problème de l'effet du mouvement relatif du milieu sur la vitesse de la lumière. Pour mieux cerner ce paradoxe, nous allons revenir sur la découverte du phénomène que l'on appelle *aberration*.

L'astronome danois Ole Römer fut le premier à suggérer son existence dans une lettre adressée à Huygens en 1677. En 1728, l'astronome anglais James Bradley rapporte des observations confirmant qu'un tel phénomène est le résultat d'un taux de retard dans la propagation de la lumière⁵.

Selon Bradley — partisan de la théorie corpusculaire de la lumière — l'aberration pouvait être expliquée de la manière suivante. Imaginez que vous essayez de faire tomber une goutte d'eau à partir d'un compte-gouttes pour qu'elle arrive tout droit au fond d'un tube à essai étroit, fixé sur le périmètre d'un plateau tournant. Si l'ouverture du tube est juste à la hauteur du compte-gouttes, il est évident que la goutte d'eau touchera la paroi du tube avant d'atteindre le fond. En effet, pendant que la goutte poursuit sa chute depuis l'ouverture, la paroi du tube vient à sa rencontre. Ce problème peut être résolu en inclinant le tube à essai vers l'avant, dans le sens de son mouvement. Si l'angle d'inclinaison est bien choisi, la goutte tombera dans le fond du tube sans toucher la paroi. Le bon angle d'inclinaison dépend du rapport de la vitesse de rotation du plateau et de la vitesse de chute de la goutte.

Remplaçons maintenant le tube à essai par le tube d'un télescope, la vitesse du plateau tournant par celle du mouvement de la Terre sur son orbite et la vitesse de chute de la goutte par celle de la lumière. Ces deux dernières quantités sont respectivement de 30 km/s et de 300 000 km/s. Cela nous donne une valeur pour l'angle d'inclinaison souhaitable du tube du télescope d'un peu plus de 20° d'arc (environ 1/180 de degré) dans la direction du mouvement orbital de la Terre, lorsqu'on observe une étoile dont la position est à la verticale. La valeur d'arc de 20,5" est appelée *constante d'aberration*.

Cette explication reste valable si l'on considère la lumière comme une onde ou un train d'ondes se propageant dans le tube du télescope pendant que celui-ci se déplace dans l'es-

pace. Il faut toutefois supposer que l'éther dans le télescope n'est pas entraîné par celui-ci (si c'était le cas, il n'y aurait pas d'aberration), mais plutôt que la Terre et le tube du télescope se déplacent librement dans le milieu éthéré qui doit être au repos par rapport au mouvement de la Terre. Remarquons que nous considérons ici deux milieux : l'air dans le tube du télescope que nous supposons transporté avec le tube et l'éther luminifère que nous supposons passer à travers les pores de la matière « *aussi librement que le vent passe à travers le feuillage d'un arbre* » (Young).

Imaginons maintenant qu'à la place de l'air, nous remplissons le tube du télescope avec de l'eau. Nous savons précisément à quel taux la vitesse de la lumière est ralentie dans l'eau par rapport à l'air. En reprenant l'exemple de la goutte d'eau et du tube à essai, nous devrions avoir une situation où la goutte d'eau tombe plus lentement et où, en conséquence, le tube devrait être davantage incliné — la constante d'aberration était plus grande. Cependant, grâce aux expériences effectuées par l'astronome anglais George Airy en 1871, nous savons que la constante d'aberration ne change pas lorsqu'on utilise un tube de télescope rempli d'eau.

C'est précisément le résultat que Fresnel avait anticipé un demi-siècle plus tôt. En effet, il avait formulé sa théorie pour expliquer les résultats des expériences de l'astronome Arago démontrant que le mouvement de la Terre ne change pas la réfraction de la lumière des étoiles par l'atmosphère terrestre. Pour expliquer l'absence de changement dans la constante d'aberration lorsque le milieu de transmission est différent, Fresnel introduit l'hypothèse selon laquelle l'éther est convecté (entraîné) dans le tube du télescope. Confronté aux variations dans l'indice de réfraction entre différents milieux transparents, son prédécesseur Young avait déjà supposé que l'éther était plus compressé dans les substances dont l'indice de réfraction était supérieur. Dans une lettre de 1818 adressée à Arago, Fresnel ajoute l'hypothèse selon laquelle l'éther, dans un objet mobile, est en partie entraîné avec celui-ci. Si, par exemple, on déplace dans l'air un prisme rectangulaire en verre, il reçoit un éther moins dense par sa face avant, le condense et le détend par sa face arrière à la manière d'un avion à

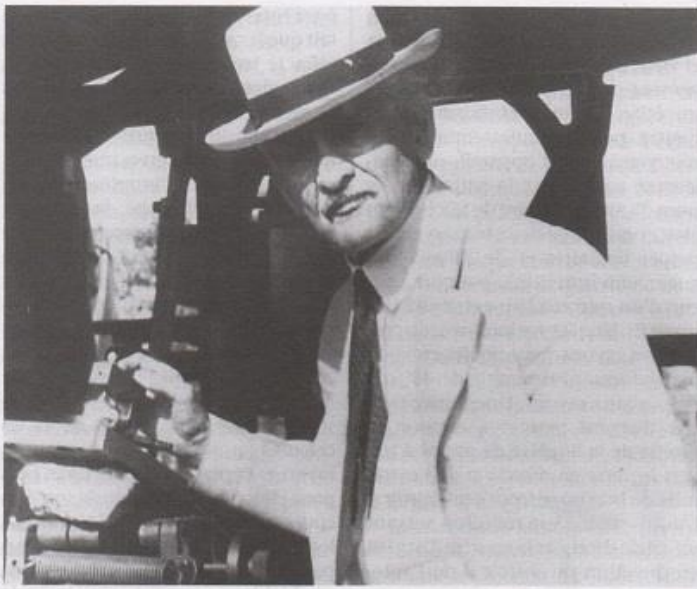
réaction. Toutefois, une fraction de l'éther plus dense est transporté avec lui et ce d'autant plus que l'indice de réfraction est élevé.

Alors, comment expliquer l'absence de changement de la constante d'aberration lorsque le tube de télescope est rempli d'eau ? Si le front d'onde se déplace dans l'air, le télescope est incliné en avant, dans la direction du mouvement orbital de la Terre, de sorte que l'oculaire au fond du tube vienne à sa rencontre pour l'« attraper ». Si le télescope est rempli d'eau, le front d'onde se déplace plus lentement dans l'eau que dans l'air et devrait donc arriver trop tard au niveau de l'oculaire. Pourtant, étant donné que l'éther plus condensé dans l'eau est en partie entraîné avec le tube du télescope dans la direction du mouvement de la Terre, le front d'onde se déplace avec l'éther, juste assez pour arriver à temps au niveau de l'oculaire pour être vu.

Ainsi, avec deux hypothèses cruciales, Fresnel fut en mesure de donner une explication complète de l'aberration. Comme cela fut résumé plus tard par son célèbre successeur américain, Albert Michelson, ces deux hypothèses étaient, *d'une part*, que l'éther est au repos absolu, *d'autre part*, qu'il ne l'est pas à l'intérieur des milieux transparents où l'éther se déplace avec une vitesse moindre que celle du milieu dans un rapport de $(n^2 - 1)/n^2$ (où n est l'indice de réfraction). Ces hypothèses furent complètement confirmées par des expériences ultérieures, notamment celles que réalisa le physicien Hippolyte Fizeau en 1851.

3. LES EXPÉRIENCES D'INTERFÉROMÉTRIE

C'est la première hypothèse de Fresnel que le physicien Albert Abraham Michelson (1852-1931) chercha à vérifier avec sa célèbre expérience d'interférométrie, d'abord en 1881 à Berlin puis en 1887 avec un appareillage plus perfectionné à la Case School of Applied Science de Cleveland, et plusieurs fois ensuite dans les années 20. Toutefois, ses résultats remirent également en question la validité de la seconde hypothèse par



Albert Michelson avec son interféromètre dans les années 20.

laquelle Fresnel avait expliqué l'aberration.

Michelson naquit en 1852 à Strelno, en Prusse (aujourd'hui en Pologne), dans une famille de juifs allemands qui émigra aux Etats-Unis en 1854. Après avoir été employé quelque temps comme bijoutier à New York, son père emmena la famille à San Francisco où il installa un petit commerce de nouveautés dont les clients étaient les mineurs de la ruée vers l'or, dans le nord de la Californie. Il déménagea ensuite à Virginia City dans le Nevada. Le jeune Michelson fut éduqué au lycée pour garçons de San Francisco, dans lequel le directeur, Theodore Bradley, l'encouragea à suivre une carrière scientifique. Il décrocha la première place, ainsi que deux autres élèves de son Etat, à l'examen qui permettait de bénéficier d'une bourse d'études à l'Ecole navale des Etats-Unis. N'ayant pas obtenu de poste, il traversa le pays avec une lettre de recommandation de son congressiste pour obtenir une audience auprès du président Ulysses Grant à Washington. Celui-ci, étant donné que le dernier des dix postes à pourvoir était déjà attribué, lui conseilla d'aller à Annapolis pour voir le commandant de l'Ecole navale qui, finalement, créa un poste supplémentaire pour lui.

En 1877, alors qu'il enseignait la physique et la chimie à l'Ecole navale, Michelson perfectionna le dispositif élaboré par le physicien Jean Foucault pour déterminer la vitesse de la lumière. Grâce aux 2 000 dollars d'aide apportés par son beau-père, le riche homme d'affaires de New York Heminway, il détermina la vitesse de la lumière à 186 508 miles par seconde (300 153 km/s), avec une erreur estimée d'un dix-millième. C'était la quatrième mesure terrestre de la vitesse de la lumière, les trois autres ayant été réalisées en France par Fizeau, Foucault et Alfred Cornu.

En 1880, Michelson se rendit en Europe afin de poursuivre des études subventionnées par l'Ecole navale. Alors qu'il était à Berlin, il conçut un moyen de mesurer le mouvement relatif de la Terre par rapport à l'éther, mesure dont James Clerk Maxwell (1831-1879), l'un des principaux scientifiques de l'époque, avait affirmé quelque temps auparavant qu'elle était impossible à réaliser⁶.

Puisant sur un fonds créé par Alexander Graham Bell et Schmidt & Haensch, fabricant d'instruments à Berlin, Michelson construisit un appareil qu'il expérimenta en 1881 à Berlin et à Postdam. Son idée consistait à utiliser le phénomène d'interférence pour détecter de très petites

différences dans la longueur du trajet de deux rayons lumineux, l'un qui va et vient suivant la direction du mouvement orbital de la Terre à travers un éther supposé stationnaire, et l'autre perpendiculairement à ce mouvement. Cet appareil, mondialement connu par la suite sous le nom d'interféromètre de Michelson, était composé de deux bras en cuivre perpendiculaires et de même longueur (environ 1 m), pourvus chacun d'un miroir à leur extrémité (**Figure 2**). Une source lumineuse *a* projette ses rayons sur un objet en verre plat *b* formant un angle de 45° par rapport aux rayons. Une mince couche d'argent permet à environ la moitié de la lumière de passer à travers le verre en direction de l'extrémité du bras où se trouve un miroir *c*. L'autre moitié est réfléchi suivant un angle droit par la couche d'argent en direction du miroir *d* de l'autre bras.

Après leur retour, la moitié des rayons provenant de *c* sont réfléchis par la face arrière argentée de *b* vers le tube d'un télescope en *e*. La moitié des rayons réfléchis depuis l'extrémité de l'autre bras en *d* passent à travers le verre partiellement argenté en *b* et atteignent également le télescope en *e*. (Un verre de même épaisseur qu'en

b est interposé afin de compenser le fait que le rayon le long du bras *bd* est réfracté trois fois par l'épaisseur du verre, alors que celui le long du bras *bc* ne l'est qu'une fois.)

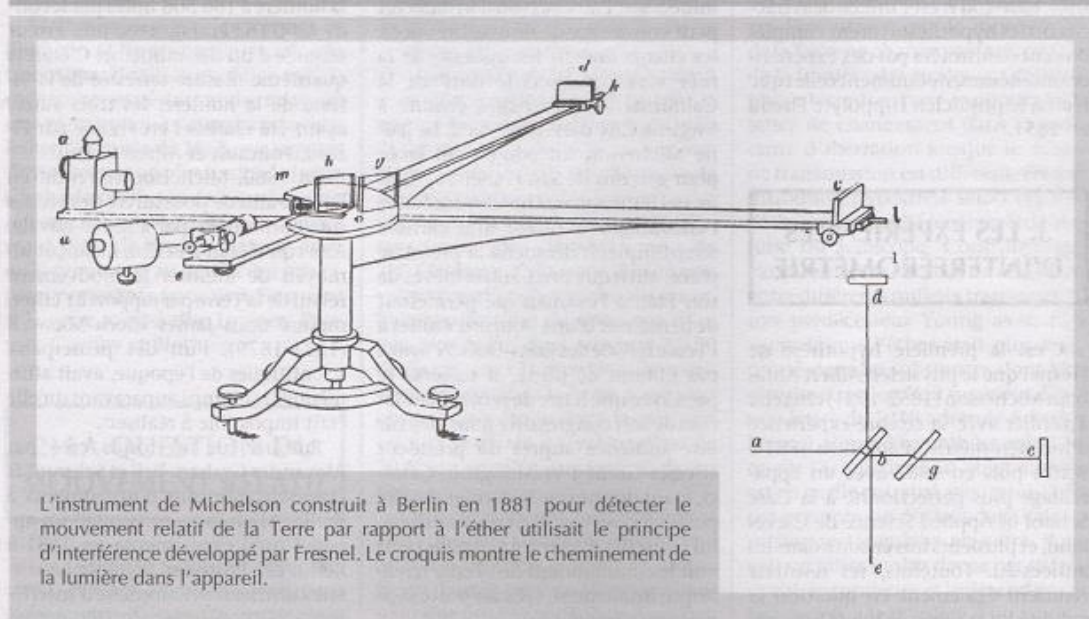
Le dispositif est ajusté de manière que l'on puisse observer une configuration de franges d'interférence dans l'oculaire du télescope. Le moindre changement dans la longueur ou la durée du parcours de la lumière se déplaçant le long de l'un des bras produira un changement de configuration des franges observées. Si l'un des bras de l'appareil est alors placé dans la direction du mouvement de la Terre à travers l'éther (présupposé stationnaire), il faudrait, selon les calculs, un peu plus de temps au rayon se déplaçant le long de ce bras pour effectuer l'ensemble de son parcours qu'au rayon se déplaçant le long de l'autre bras dans la direction perpendiculaire. (Ces calculs sont semblables à ceux qui permettent de comparer le temps qu'il faut à un nageur pour se déplacer dans une rivière dans le sens du courant puis à contre-courant, ainsi que perpendiculairement au courant'.)

Mais quel pourrait être le mouvement de la Terre par rapport à l'éther stationnaire ? A l'époque de l'expérience de 1881, les astronomes avaient

détecté un mouvement du système solaire, de vitesse inconnue, en direction de la constellation d'Hercule. La vitesse orbitale de la Terre voisine de 30 km/s était bien connue. Michelson supposa que la résultante des deux serait la vitesse absolue (ou vitesse cosmique) de la Terre. Après avoir estimé l'ordre de grandeur de la vitesse vers Hercule, Michelson en déduisit qu'il obtiendrait un décalage des franges d'interférence d'au moins un dixième de frange. Son appareil, capable de détecter des décalages d'un ordre de grandeur plus petit, ne lui permit cependant pas d'obtenir un résultat positif.

Le premier interféromètre de Michelson présentait certains défauts. Sa sensibilité aux vibrations ne permettait pas de l'utiliser à Berlin en plein jour mais seulement la nuit et non sans difficultés. Les bras en cuivre étaient soumis à une dilatation différentielle à cause des variations de température et à des déformations lorsqu'ils tournaient. Des modifications lui furent apportées et l'appareil fut déménagé à l'observatoire d'astrophysique de Postdam où le trafic était moins important qu'à Berlin, puis dans une cave en pierre dans les environs. Michelson témoigna qu'« à cet endroit, avec des circonstances ordi-

Figure 2 - Le premier interféromètre de Michelson



L'instrument de Michelson construit à Berlin en 1881 pour détecter le mouvement relatif de la Terre par rapport à l'éther utilisait le principe d'interférence développé par Fresnel. Le croquis montre le cheminement de la lumière dans l'appareil.

naires, les franges étaient suffisamment calmes pour être mesurées, mais l'appareil était tellement sensible que le simple choc d'un pas sur le pavé dans un rayon de 100 m autour de l'observatoire suffisait à les faire disparaître ! » [Michelson 1881, p. 124.]

Quatre séries de mesures effectuées en avril 1881 n'apportèrent aucune preuve significative d'un mouvement relatif par rapport à l'éther. Michelson conclut :

« L'interprétation de ces résultats est qu'il n'y a pas de déplacement des franges d'interférence. Il a donc été montré que le résultat de l'hypothèse d'un éther stationnaire est incorrect, et la conclusion nécessaire qui en découle est que cette hypothèse est erronée.

« Cette conclusion contredit directement l'explication de l'aberration qui a été généralement acceptée jusqu'à présent et qui présuppose que la Terre se déplace à travers l'éther, ce dernier demeurant au repos. » [Michelson 1881, p. 128 ; l'hypothèse dont il est question est celle de Fresnel.]

À son retour d'Europe en 1882, Michelson occupa la place de professeur de physique à la nouvelle école Case School of Applied Science de

Cleveland dans l'Ohio. Il y rencontra Edward W. Morley, professeur de chimie à l'université voisine, la Western Reserve University, qui lui suggéra quelques améliorations à apporter à l'interféromètre, en particulier pour stabiliser sa base. Mis à part l'hypersensibilité de l'appareil construit à Berlin, une petite erreur dans la conception de l'expérience avait été indiquée à Michelson par Alfred Potier de Paris au cours de l'hiver 1881, ainsi que dans une analyse de l'expérience publiée ensuite par Hendrik Lorentz.

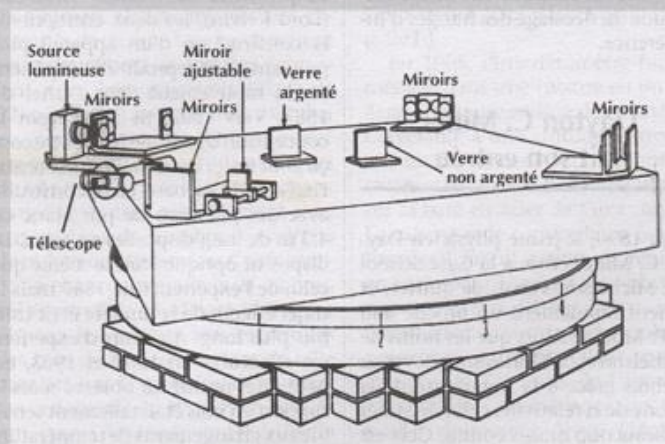
Grâce à l'argent du fonds Bache de la National Academy of Sciences, un tout nouvel instrument fut construit dans le sous-sol du principal bâtiment du collège Aldebert de la Western Reserve University, et fut prêt à être utilisé à partir de 1887. Il s'agissait d'un solide bloc de grès de 1,5 m² et de 30 cm d'épaisseur sur lequel était monté le dispositif optique. Pour réduire les vibrations, le bloc de grès reposait sur un disque en bois qui flottait sur du mercure contenu dans un réservoir circulaire en fonte, lequel reposait sur un support en brique. Cette configuration permettait

de faire tourner le bloc de grès supportant l'optique de 360° presque sans aucune vibration (Figure 3).

Le dispositif optique, construit par John A. Brashear de Pittsburgh, était dans son principe semblable à celui de l'instrument de Michelson à Berlin. Cependant, le trajet effectif de la lumière fut rallongé en réfléchissant le rayon en va-et-vient avec quatre miroirs à chaque coin de telle manière qu'il traverse la diagonale du bloc de grès à huit reprises. Cela revenait à utiliser un interféromètre de 11 m de long. Dans l'hypothèse d'un éther stationnaire, placer l'un des bras de l'appareil dans la direction d'un déplacement égal à celui de la Terre sur son orbite produirait un déplacement des franges d'interférence de 0,4 fois la largeur d'une frange.

Michelson et Morley effectuèrent des séries d'observations d'une heure chacune les 8, 9 et 11 juillet 1887 pendant le jour et les 8, 9 et 12 juillet pendant la nuit, la durée totale de ces mesures étant donc de 6 heures. Pour chaque séance de mesures, ils firent subir à l'appareil 36 tours lents. Un observateur se déplaçait autour de l'appareil de manière à garder un œil sur l'image des franges d'interférence. À chaque seizième de tour, l'observateur lisait le déplacement des franges à l'aide de graduations visibles dans l'oculaire tandis qu'un assistant en prenait note.

Figure 3 - L'interféromètre de Michelson et Morley (1887)



Edward Morley, professeur de chimie à la Western Reserve University, conçut cet appareil pour réduire la grande sensibilité de l'interféromètre aux vibrations. Le dispositif optique est placé sur un bloc de pierre de 30 cm d'épaisseur qui flotte sur du mercure, ce qui permet à l'ensemble de tourner de 360°.

L'effet n'était pas nul

Les observations ne produisirent pas le déplacement escompté de 0,4 fois la largeur d'une frange. Jusqu'à ce jour, la plupart des livres et manuels scientifiques, y compris les références de haut niveau, rapportent que l'expérience de Michelson et Morley de 1887 a produit un effet nul. Cependant, comme Dayton C. Miller, qui débuta ses expériences avec Morley en utilisant un dispositif encore amélioré en 1902, le notera plus tard :

« L'effet mesuré n'était pas nul ; la sensibilité de l'appareil était telle que les conclusions publiées en 1887 firent état d'un mouvement relatif observé de la Terre par rapport à l'éther qui ne dépassait pas un quart de la vitesse orbitale de la Terre. Ce qui est très différent de l'absence d'effet qui est aujourd'hui si souvent attribuée à cette expérience par

ceux qui écrivent sur la Relativité. » [Miller 1933, p 206 ; souligné dans l'original.]

Nous reviendrons un peu plus loin sur le travail de Miller et sur ses implications pour la théorie de la relativité restreinte. La propre évaluation de Michelson ne contredit pas celle de Miller bien qu'elle soit rédigée sur un ton différent. Nous la citons pour comparaison :

« Compte tenu du seul mouvement de la Terre sur son orbite, ce déplacement [des franges] devrait être de $2D \cdot v^2 / V^2 = 2D \cdot 10^{-8}$. La distance D est d'environ onze mètres ou encore $2 \cdot 10^7$ longueurs d'onde de la lumière jaune ; d'où le déplacement attendu de 0,4 frange. Le déplacement effectif était certainement inférieur au vingtième et sans doute inférieur au quarantième d'une frange. Toutefois, du fait que le déplacement est proportionnel au carré de la vitesse, la vitesse relative de la Terre par rapport à l'éther est probablement inférieure au sixième de la vitesse orbitale de la Terre et certainement inférieure au quart. » [Michelson et Morley, p. 341.]

Michelson ajoute ensuite une précision importante :

« Dans ce qui précède, seul le mouvement orbital de la Terre est considéré. S'il est combiné avec le mouvement du système solaire à propos duquel on ne sait que peu de choses avec certitude, le résultat devrait être modifié ; et il est parfaitement possible que la vitesse résultante au moment des observations ait été petite, bien qu'il y ait peu de chances que ce soit le cas. En conséquence, l'expérience devra donc être répétée à des intervalles de trois mois et toute incertitude sera alors éliminée. » [Michelson et Morley, 1887, p. 341.]

Malheureusement, Michelson n'a pas eu la possibilité de recommencer ces observations. En 1889, il quitta la Case School pour passer quelque temps à la Clark University avant de s'établir à l'université de Chicago dans laquelle il enseigna pendant trente-huit ans. Les dix années suivantes, il utilisa l'interférométrie pour mesurer le mètre étalon, travail pour lequel il acquit une renommée internationale.

Cependant, l'anomalie détectée par Michelson dans la théorie de Fresnel sur l'aberration demeura et devint un sujet de discussions parmi les physiciens de tous pays. En 1891, le physicien irlandais George FitzGerald proposa que les résultats plus petits que prévus de l'expérience de

Michelson et Morley avaient pu être causés par un raccourcissement de la base en grès de l'interféromètre dans la direction du mouvement de l'appareil dans l'éther. Cette contraction avait pu être due à un changement dans les forces intermoléculaires résultant du déplacement relatif dans l'éther. En effet, si le trajet effectif de la lumière devenait plus court dans cette direction, cela pouvait réduire ou même annuler les résultats attendus d'après l'hypothèse de Fresnel. Le physicien britannique Sir Oliver Lodge soutint l'hypothèse de contraction de FitzGerald au cours d'une intervention à la Royal Society en 1892.

En 1895, le physicien hollandais Hendrik Lorentz, qui s'était investi dans une modification de l'électrodynamique de Wilhelm Weber afin de rendre compte de nouveaux résultats expérimentaux, adopta et développa l'hypothèse de FitzGerald. Il suggéra que le mouvement dans l'éther des particules chargées électriquement constituant un corps pouvait engendrer un effet magnétique qui augmenterait les forces d'attraction interatomique d'où résulterait une contraction dans la direction du mouvement. Si la supposition de Lorentz était vraie, l'amplitude de la contraction dépendrait des propriétés physiques du solide ; un changement dans le matériau séparant les extrémités de l'interféromètre devrait produire un changement dans l'amplitude du décalage des franges d'interférence.

Dayton C. Miller fait son entrée

En 1890, le jeune physicien Dayton C. Miller entre à la Case School que Michelson venait de quitter, et devient rapidement un proche ami du Pr Morley. Alors que les noms de Michelson et de Morley sont devenus célèbres grâce à la popularité de la théorie de la relativité, celui de Miller est beaucoup moins connu. Cela est injuste car les recherches de Miller avec l'instrument inventé par Michelson pour détecter la vitesse de la Terre dans l'éther furent beaucoup plus exhaustives que celles de son prédécesseur Michelson ou de leur collaborateur commun, Morley.

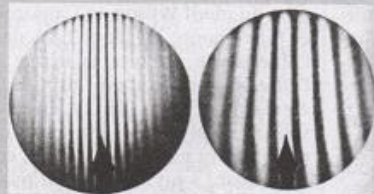
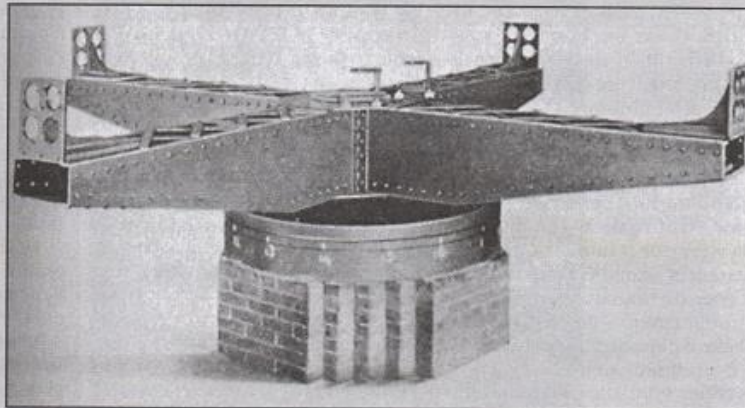
Dayton Clarence Miller (1866-1941) naquit à Strongsville dans l'Ohio. Il fut diplômé au collège Baldwin-Wallace et obtint un doctorat en science à l'université de Princeton en 1890, où il travailla sous la direction de l'astrophysicien Charles A. Young. Il fut président de l'American Physical Society entre 1925 et 1926, président de la division de science physique du Conseil national de la recherche de 1927 à 1930 et président de la Société acoustique d'Amérique de 1913 à 1933. Mis à part son important travail expérimental sur le mouvement dans l'éther, Miller s'est intéressé toute sa vie à la musique et à l'acoustique. Sa mère était organiste d'église, son père choriste et lui-même devint un flûtiste accompli. En 1908, il inventa un appareil qu'il appela *phonodeik* pour enregistrer photographiquement des séquences sonores et avec lequel il établira les caractéristiques physiques des voyelles dans le discours et dans la musique. Il fut consulté en tant qu'expert en acoustique architecturale pour la conception d'un grand nombre de chapelles de collèges et pour le Severance Hall de Cleveland.

L'expérience de Michelson et Morley et l'hypothèse de contraction de Lorentz furent le sujet de nombreuses discussions au Congrès international de physique qui se tint à Paris en 1900 et auquel assistèrent les professeurs Miller et Morley. A la demande pressante de William Thomson (Lord Kelvin), les deux entreprirent la construction d'un appareil plus puissant pour reproduire l'expérience du mouvement dans l'éther de 1887. Vers 1902, ils achevèrent la conception d'un interféromètre conçu pour tester la contraction Lorentz-FitzGerald. La base était construite avec des planches de pin blanc de 4,3 m de long disposées en croix. Le dispositif optique était le même que celui de l'expérience de 1887 mais le trajet effectif de la lumière était trois fois plus long. Au cours d'expériences effectuées en 1902 et 1903, un petit effet positif fut observé mais le support en bois était tellement sensible aux changements de température et d'humidité que l'appareil fut abandonné.

Grâce à une aide de l'American Academy of Arts and Sciences, un nouvel interféromètre fut construit en 1904 (Figure 4). Ses bras d'une longueur d'environ 4,3 m étaient réa-

Figure 4 - L'interféromètre de Morley et Miller (1903)

Dayton Miller aida Morley à concevoir un nouvel appareil, plus stable et plus précis que celui utilisé par Michelson et Morley en 1887. Une structure métallique formant des bras flottait sur le réservoir original à mercure. Un nouveau système optique avec quatre miroirs au bout de chaque bras formait un trajet effectif de la lumière de 32 m. L'instrument est présenté sur une photo de 1903 presque complet mais sans l'optique.



Ci-contre, des franges d'interférence telles qu'elles sont vues dans le télescope de l'interféromètre. L'observateur estimait la position de la frange par rapport à l'aiguille que l'on voit en bas, en dixièmes de largeur de frange.

lisés en poutres d'acier de construction. L'appareil flottait sur du mercure dans le même réservoir que celui utilisé lors de l'expérience de 1887. On ajouta de nouveaux éléments optiques réalisés par O.L. Petittidier de Chicago. Quatre miroirs aux extrémités de chaque bras produisaient un trajet effectif de lumière équivalent à un bras d'interféromètre de 32 m de long : presque trois fois plus que pour l'appareil de 1887. Ce même appareil fut utilisé par Miller au cours de très nombreuses séances d'observations pendant plus de vingt-cinq ans et dans de nombreux endroits dont le mont Wilson en Californie.

Au cours du premier essai du nouvel appareil de Morley et Miller, on disposa les miroirs aux extrémités des bras de l'interféromètre de telle manière que la variation de leur distance dépende de poutres en bois de pin, et cela dans l'espoir de vérifier la contraction de Lorentz. Les résultats des mesures ne permirent pas de conclure :

« Si le pin est modifié, comme cela a été suggéré, il l'est autant que le grès. Certains ont pensé que cette expérience prouve seulement que l'éther se trouvant

dans un sous-sol est entraîné avec celui-ci. Nous voulons par conséquent placer l'appareil sur une colline pour voir si un effet peut y être détecté. »

C'est ainsi que se conclut le rapport de 1905 de Miller et Morley sur l'expérience [cité dans Miller 1933, p. 261.]

En 1905, l'interféromètre fut démenagé dans une cabane en un site dégagé sur une colline des monts de Cleveland, à une altitude d'environ 285 m. Les poutres de pin furent enlevées et les miroirs fixés directement sur la base en acier de l'instrument. La cabane et le couvercle en bois de l'appareil furent munis de fenêtres en verre pour éliminer tout obstacle possible au flux d'éther. Des mesures furent effectuées en juillet, octobre et novembre, qui consistaient en trois groupes de 230 tours de l'appareil. Elles mirent en évidence un effet positif clairement défini (déplacement des franges dans certaines directions), mais de trop faible amplitude pour pouvoir être en accord avec la théorie de Fresnel.

Quand Miller revint des vacances d'été l'année suivante, la propriété où avait été installé l'interféromètre

avait été vendue et le nouveau propriétaire demanda que l'appareil soit immédiatement enlevé. Le départ du Pr Morley à la retraite et d'autres circonstances firent que le travail de Miller sur l'interférométrie fut interrompu pendant longtemps.

La théorie de la relativité

Ce n'est pas avant 1921 que Miller reprit ses expériences avec l'interféromètre. A cette époque, la théorie de la relativité d'Einstein avait acquis une certaine notoriété dans les milieux scientifiques, et était l'objet d'une importante publicité. Ni Michelson ni Miller ne figuraient parmi ses adhérents.

Lorsque Einstein développa la théorie de la relativité restreinte en 1905, les expériences de Michelson, Morley et Miller n'étaient pas sa principale préoccupation. Le titre de son premier article sur le sujet, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (« Sur l'électrodynamique des corps en mouvement »), donne une indication sur l'orientation de ses pensées. Le pro-

blème auquel il s'attaqua en physique trouve ses racines dans la formulation par Wilhelm Weber de la loi fondamentale de l'électrodynamique, développée en collaboration avec Carl Friedrich Gauss en 1845. Par une preuve expérimentale de l'existence de la force angulaire d'Ampère, Weber avait déterminé que la force entre deux particules électriques en mouvement dépend des vitesses et accélérations relatives des particules et d'une constante qui fut déterminée en 1854 comme étant égale à $\sqrt{2}$ multipliée par la vitesse de la lumière. Parmi les importantes retombées des travaux de Weber, on trouve une explication électrodynamique de l'avance du périhélie de Mercure⁸, la détermination d'une limite sur les vitesses relatives et une estimation théorique du rayon de l'électron classique, plusieurs décennies avant sa confirmation expérimentale⁹.

Après les travaux de Weber, il restait à élaborer une représentation intelligible des relations plus profondes existant entre les phénomènes de gravité, d'électrodynamique et d'optique. C'était la pierre d'achoppement à laquelle Gauss avait déjà fait référence dans sa correspondance avec Weber de 1845¹⁰.

La tentative d'Einstein pour imaginer une solution à ce problème se rattache au fait qu'il y a vu la signification physique d'un problème philosophique qu'il appelait le *paradoxe de la simultanéité*. La détermination de la simultanéité de deux événements dépend des position et vitesses relatives de l'observateur. Compte tenu de ces deux variables, les deux mêmes événements peuvent avoir lieu dans un certain ordre, dans l'ordre contraire ou être simultanés. L'incidence de cela en physique est une interdépendance entre les mesures de longueur et de durée (et, en conséquence, de *masse*, selon le système d'unités établi par Gauss en 1832¹¹), interdépendance dont les implications furent le plus complètement explorées par Bernhard Riemann, digne héritier de Gauss, dans sa dissertation d'habilitation de 1854.

Cependant, Einstein introduisit dans son système certaines hypothèses supplémentaires, notamment l'invariance de la vitesse de la lumière est invariante quelle que soit la vitesse de sa source et la non-existence d'un éther au repos absolu. Ainsi, pour que la théorie de la relativité soit

valable, il était nécessaire que les résultats des mesures obtenues avec l'interféromètre de Michelson soient absolument nuls. Malheureusement, les résultats expérimentaux ne répondaient pas à cette exigence. Un résultat positif de faible amplitude persistait avec insistance au cours des essais expérimentaux méticuleux conduits sur l'interféromètre le plus puissant à l'époque.

En 1919, la théorie de la relativité générale acquit une grande notoriété suite à l'expédition menée en Afrique équatoriale par Sir Arthur Eddington qui photographia la lumière d'une étoile cachée par le Soleil au cours d'une éclipse totale de notre étoile. Un examen de ces photographies semblait suggérer une légère courbure du chemin de la lumière de l'étoile autour du Soleil, ce qui était cohérent avec la théorie d'Einstein. La confirmation minime de la théorie qu'apportait l'événement fut hors de proportion avec le tapage publicitaire mondial qui en suivit l'annonce.

La première expérience au mont Wilson

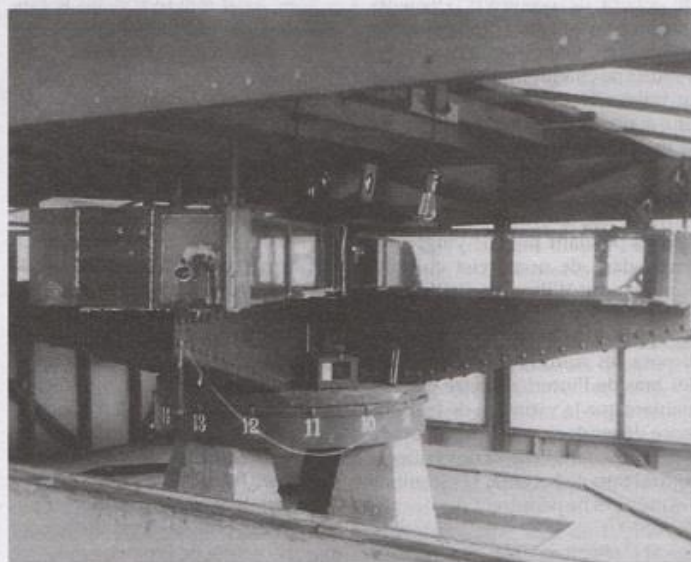
C'est dans ce contexte que Dayton C. Miller retourna à ses expériences

d'interférométrie comme il le décrit en 1933 :

« Du fait que la théorie de la relativité postule un résultat totalement nul pour l'expérience de dérive de l'éther — ce qui n'a jamais été obtenu dans la réalité — l'auteur de ces lignes se sentit incité à reprendre cette expérience afin d'établir un résultat définitif. Un programme détaillé fut préparé et les fonds nécessaires pour en couvrir les dépenses considérables furent fournis par la générosité de M. Eckstein de la Case de Cleveland. » [Miller 1933, p. 217.]

Le 25 mai 1921, Albert Einstein rendit visite à Miller à la Case et l'encouragea à pousser ses recherches.

L'interféromètre en acier de Morley et Miller fut transporté avec son grand réservoir de mercure à travers le pays, jusqu'aux caves de l'observatoire du mont Wilson en Californie, et fut remonté en mars 1921 dans l'objectif de mesurer la dérive de l'éther à cet endroit où l'altitude est élevée (1 750 m). On y effectua soixante-sept groupes de mesures qui produisirent un résultat positif, correspondant à un mouvement relatif entre la Terre et l'éther de 10 km/s. Des tests furent réalisés sur l'instrument pour s'affranchir des effets de chaleur radiante. Avec une base en béton pour remplacer les barres d'acier, les effets positifs demeurèrent



L'interféromètre que Miller utilisa au Mont-Wilson entre 1924 et 1926.

rent.

L'appareil fut ramené à Cleveland et des mesures furent réalisées pour un grand nombre de conditions expérimentales bien contrôlées, entre 1922 et 1924. Différentes sources lumineuses artificielles furent essayées ; les résultats furent les mêmes avec la lumière du Soleil. (Dès lors, les lampes à acétylène utilisées à l'époque dans l'automobile devinrent la source lumineuse standard.) Les effets des variations de chaleur sur différentes parties de l'appareil furent testés.

La nouvelle hypothèse de Dayton Miller

L'interféromètre retourna au mont Wilson en 1924 et fut monté en août sur un nouveau site moins exposé au vent. Une série d'observations furent effectuées en septembre 1924 ainsi qu'en avril et mai 1925. Alors que les résultats continuaient d'être positifs, un nouveau paradoxe survint dans leur interprétation, dont la résolution conduisit Miller à sa théorie finale sur cette expérience. Des calculs basés sur les effets du mouvement orbital et sur le mouvement apparent vers Hercule laissaient prévoir des variations maximales d'amplitude et d'azimut entre septembre et avril. Elles ne furent pas détectées.

Miller comprit qu'une des hypothèses sous-jacente à toutes les expériences précédentes avec l'interféromètre pouvait être fautive. Il avait été supposé jusqu'alors que la vitesse de la Terre dans l'éther était connue ou, plus précisément, qu'elle était le résultat de la combinaison du mouvement orbital et de celui du système solaire vers Hercule. Que se passerait-il si, au contraire, nous émettions l'hypothèse que nous ne connaissons pas tous les mouvements qui se combinent pour donner le mouvement absolu de la Terre à travers l'éther ? Du fait que nous connaissons les résultats observés avec l'interféromètre, nous pouvons les utiliser en tant que données premières pour trouver l'amplitude et la direction du mouvement absolu de la Terre dans l'éther.

Miller se demanda pourquoi personne n'avait pensé à cette approche plus tôt. Il écrit :



Dayton Miller à la Case School, utilisant un analyseur harmonique Henrici. Cet instrument d'abord destiné à l'acoustique, servira ensuite à interpréter les données interférométriques.

« La réponse réside, d'une part, dans le fait que l'objectif [des expériences précédentes] avait été la vérification de certaines prévisions issues des théories dites classiques et, d'autre part, dans le fait qu'il n'est pas facile de développer une nouvelle hypothèse — même simple — en l'absence d'indication directe. Il est probable qu'une raison importante de cet échec se trouve dans la grande difficulté d'effectuer des observations à toute heure de la journée, en toute saison. Très peu d'expériences scientifiques, voire aucune, demandent d'effectuer de si nombreuses observations continues avec une telle difficulté extrême ; cela demande davantage de concentration que pour n'importe quelle autre expérience connue [...] » [Miller 1933, p. 222.]

Les résultats du mont Wilson, 1925-1926

Les observations effectuées au mont Wilson en avril, août et septembre 1925 ainsi qu'en février 1926 prirent en compte la nouvelle hypothèse.

La compilation des données fournies par ce cycle d'observations représentait un travail gigantesque. Les enregistrements s'étalaient sur 316 pages de notes et donnaient le déplacement des franges pour chacune des seize positions (azimuts) de l'interféromètre pour chaque tour.

Plusieurs modèles géométriques ingénieux furent imaginés pour aider à la visualisation et au calcul de l'effet. En tout, 250 000 observations différentes furent réalisées.

Le 9 décembre 1925, Miller présenta une solution préliminaire au cours de son intervention en tant que président de l'American Physical Society, lors de sa convention à Kansas City. Le point de la sphère céleste vers lequel la Terre se déplace en raison de son mouvement absolu est appelé l'apex du mouvement. A partir des mesures effectuées le 15 septembre 1925, Miller et ses assistants établirent un apex du mouvement situé dans l'hémisphère céleste Nord, avec un angle horaire de 17 heures et une déclinaison de +65°.

Suite à une quatrième série de mesures effectuées le 8 février 1926, l'ensemble des données fut soumis à un réexamen approfondi. Les résultats, présentés à Pasadena lors de la conférence sur la dérive de l'éther des 4 et 5 février 1927, donnèrent un angle horaire de 17 heures et une déclinaison de +68° — résultats proches de ceux de 1925.

Les derniers résultats de Dayton Miller

En 1932, Miller entreprit une nouvelle étude sur les mesures du mont Wilson. Il examina la possibilité que l'apex du mouvement se trou-

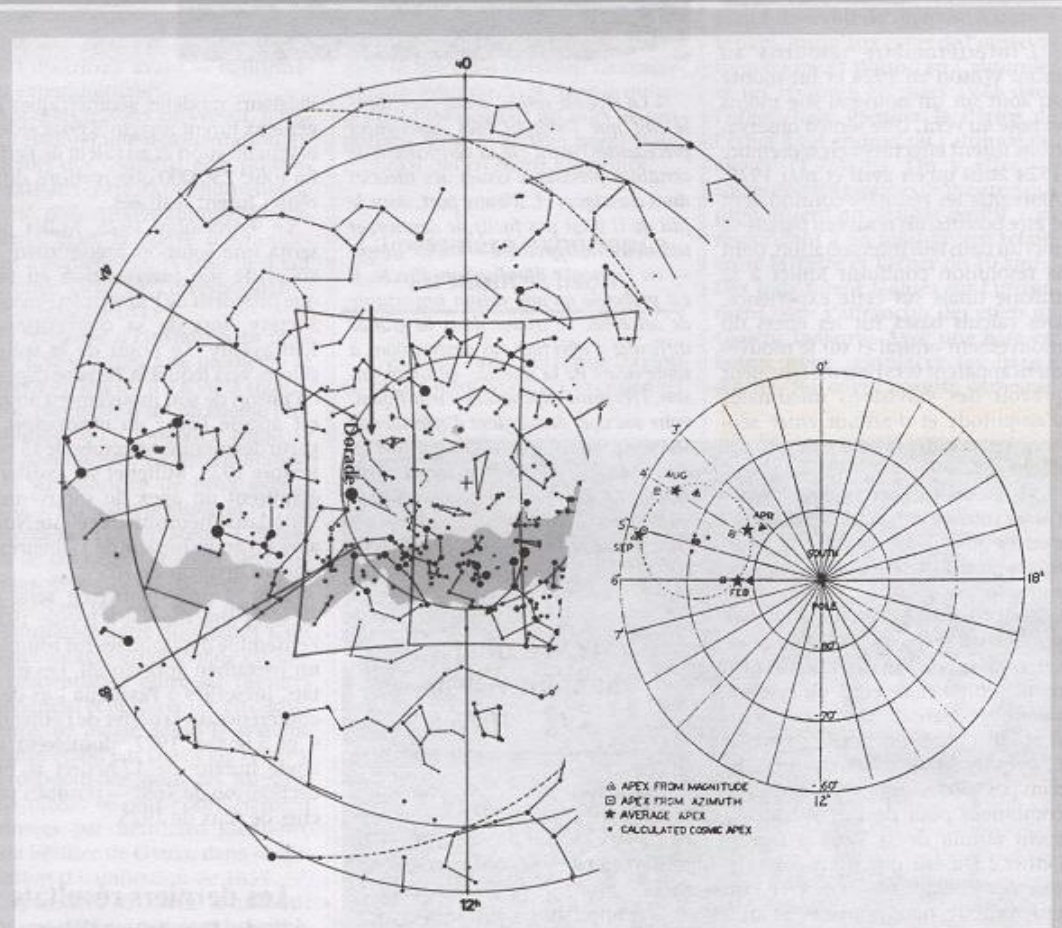
ve sur la même ligne mais, ce qui lui semblait le plus probable, dans le sens opposé. L'apex finalement calculé se trouve dans l'hémisphère céleste Sud avec un angle horaire de 4 heures 54 minutes et une déclinaison de $-70^{\circ} 33'$. Il se trouve dans la constellation de la Dorade, dans le Grand Nuage de Magellan.

Les calculs et le réexamen des données de 1932 permirent également, pour la première fois, d'estimer la vitesse cosmique de la Terre. Pour chacune des quatre périodes (8 février, 1^{er} avril, 1^{er} août et 15 septem-

bre), il calcula un apex du mouvement : d'abord, sur la base des données de l'amplitude du déplacement des franges (*vitesse*) et, ensuite, en prenant l'enregistrement de l'*azimut* de l'interféromètre. A partir de ces deux apex qui dans chaque cas étaient voisins l'un de l'autre, un sommet moyen fut calculé pour chacune des quatre périodes. On découvrit qu'ils se situaient dans un petit cercle de la sphère céleste (Figure 5), dont le centre était ce que l'on considérait déjà comme étant l'apex du mouvement cosmique.

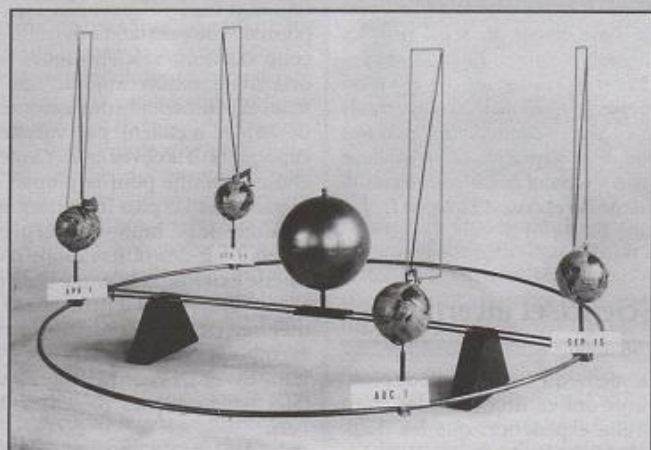
Le modèle de la figure 6 montre comment on estima la vitesse. La position orbitale de la Terre est représentée pour chacune des quatre périodes où furent effectuées les observations à l'interféromètre. La diagonale de chacun des parallélogrammes indique le sommet moyen de chaque période ; le grand côté représente le sommet du mouvement calculé (le centre du cercle), le petit côté la vitesse orbitale connue de la Terre — environ 30 km/s. Connaissant les directions des trois côtés d'un triangle et la longueur de l'un d'entre eux,

Figure 5 - La carte de Miller de l'apex du mouvement cosmique de la Terre (1933)



L'analyse que Miller fit en 1925 et 1926 des observations faites au mont Wilson montra que la Terre se déplace dans l'espace à une vitesse de 208 km/s, vers un point de l'hémisphère céleste méridional dans la constellation de la Dorade. L'apex du mouvement calculé est au centre du cercle en pointillé. Les points étoilés montrent les sommets du mouvement calculés pour chacune des quatre périodes où furent effectuées les observations. La carte stellaire indique la position de la constellation de la Dorade.

Figure 6 - Le modèle utilisé pour calculer la vitesse absolue de la Terre



Le modèle de Miller montre la position orbitale de la Terre à chacune des quatre périodes entre 1925 et 1926, lorsque les observations à l'interféromètre furent effectuées au mont Wilson. Les parallélogrammes indiquent la vitesse orbitale de la Terre (côté horizontal) et la vitesse du mouvement cosmique. Le mouvement orienté est vers le sud, c'est-à-dire ici vers le bas.

on peut dès lors calculer très simplement la longueur des deux autres. On obtint ainsi une vitesse estimée de 208 km/s en direction de la constellation de la Dorade — l'estimation de Miller du mouvement absolu de la Terre dans l'éther.

La direction du mouvement est à six degrés près perpendiculaire au plan de l'écliptique (le plan dans lequel se trouvent les trajectoires elliptiques de la plupart des planètes du système solaire), ce qui permet à Miller d'écrire :

« Cela suggère que le système solaire pourrait être vu comme un disque dynamique qui est tiré à travers un milieu résistant et qui, par conséquent, se place de lui-même perpendiculairement au mouvement.

« Le fait que le Soleil se déplace vers le sommet méridional avec une vitesse de 208 km/s et qu'il semble, en même temps, se déplacer par rapport aux étoiles voisines dans la direction opposée vers la constellation Hercule avec une vitesse de 19 km/s, montre que le groupe d'étoiles dans son ensemble se déplace vers le sommet méridional avec une vitesse de 227 km/s. » [Miller 1933, p. 234.]

Un nouveau paradoxe apparaît

alors. Avec les méthodes décrites ci-dessus, Miller a trouvé une vitesse d'environ 200 km/s pour chacune des quatre périodes. Cependant, les vitesses déduites des observations directes des franges d'interférence sont plus petites d'un facteur 20 environ. Comme Miller le remarque, une hypothèse physique supplémentaire est nécessaire pour expliquer cette réduction de la vitesse observée. Peut-être s'agit-il de l'effet d'une « traîne » supplémentaire d'éther sur la surface de la Terre ou d'une hypothèse totalement différente. La question reste ouverte.

Miller remarqua une extraordinaire coïncidence de phase, à la fois dans les courbes de vitesse (déplacement de franges) et dans celles des azimuts, pour les quatre périodes, lorsqu'elles sont relevées en fonction du temps sidéral. Dans les quatre cas, les minima des courbes de vitesse se situent autour de 17 heures. On peut le voir sur les graphiques de Miller reproduits sur les graphiques I et II de l'article de Maurice Allais. La même coïncidence de phase n'a pas lieu lorsque les courbes sont relevées en fonction du temps civil. Miller consi-

dérait que ce fait était une preuve solide en faveur de sa conclusion selon laquelle la vitesse orbitale n'est qu'une petite fraction de la vitesse de la Terre dans l'éther absolu. (Le temps civil est basé sur la position apparente du Soleil dans le ciel et reflète, par conséquent, le mouvement orbital de la Terre. Le temps sidéral est une mesure de la rotation de la Terre en prenant pour référence les étoiles lointaines relativement fixes ; l'orbite de la Terre autour du Soleil n'y est pas prise en compte.)

La corrélation de phase est également une preuve solide, presque irréfutable, de l'existence d'un effet réel et rend peu probable l'idée que les mesures soient biaisées. Miller montra également comment la composante orbitale est responsable de l'aplatissement des courbes en février et en avril et de l'accentuation des minima six mois plus tard — encore une coïncidence entre la théorie et l'observation qu'il est difficile d'attribuer à un accident.

Les détracteurs

En 1955, Robert S. Shankland du Case Institute of Technology de Cleveland, qui avait été associé aux recherches de Miller de 1932-1933, publia une nouvelle étude sur les travaux de Miller menée par une équipe de quatre hommes qu'il dirigeait. Sa conclusion fut la suivante :

« Les petits déplacements périodiques de frange observés par Miller sont dus en partie à des fluctuations statistiques dans le relevé des positions des franges car l'expérience est très délicate. Les effets systématiques restants sont à attribuer aux conditions locales de température. » [Shankland et alia, 1955, p. 167.]

Shankland examina à nouveau les tests de laboratoire de Miller de 1923 sur les effets des variations de température sur l'instrument, au cours desquels Miller avait intentionnellement soumis certaines parties de l'appareil à des sources de chaleur électriques. Contrairement aux conclusions de Miller, Shankland croyait que les tests de laboratoire mettaient en évidence des « effets de température petits mais certains ». Il tenta de prouver par une analyse sophistiquée qu'il est possible que des variations de température produisent des effets périodiques réguliers. En examinant les enregistre-

ments de température du mont Wilson, Shankland conclut que les variations de température de la cabane du mont Wilson étaient la cause des déplacements périodiques de frange observés par Miller et ses assistants.

En tant que telle l'étude de Shankland ne serait pas très significative mais elle est accréditée par deux autres éléments importants. Le premier est la grande crédibilité accordée à la théorie de la relativité, qui requiert comme prémisses la non-existence des effets relevés par Miller. Le second, plus solide, est le fait qu'un certain nombre d'expériences ont été réalisées sur d'autres interféromètres par des chercheurs compétents contemporains de Miller, et qu'elles ont produit des résultats presque nuls. Ces expériences sont les suivantes :

— une expérience de R.J. Kennedy sur le mont Wilson en 1926, utilisant un interféromètre très sensible confiné dans de l'hélium ;

— un interféromètre enfermé dans un caisson à vide utilisé dans un ballon à une altitude de 2 500 m puis au sommet du mont Rigi, par Auguste Piccard et E. Stahel de Bruxelles en 1927 ;

— un interféromètre ayant un trajet effectif de lumière de 25,9 m, monté dans la cave à température constante de l'observatoire du mont Wilson par Michelson lui-même avec l'assistance de Francis Pease et F. Pearson, en 1929 ;

— un interféromètre de 21 m de trajet effectif de lumière, monté sur une base de quartz (pour éviter les effets de magnétostriction) dans une chambre à vide et dont les mesures ont été relevées par photographie par Georg Joos à Léna en 1930.

(Le chemin effectif de lumière de l'appareil de Miller était de 32 m.)

Pour expliquer les déplacements presque nuls trouvés au cours de ces diverses tentatives, Miller remarqua que dans toutes ces expériences les interféromètres étaient soit enfermés dans des boîtes métalliques, soit placés dans des caves de laboratoire, soit les deux. « Si la question d'un éther entraîné se pose pour l'expérience, il semble que l'utilisation d'enveloppes aussi massives et opaques ne se justifie pas. » [Miller 1933, p. 240.] Il nota également qu'aucun des autres chercheurs n'avait conduit ses observations sur une durée suffisamment longue pour pouvoir détecter des

variations saisonnières.

En 1959, Maurice Allais commenta le rapport de Shankland de la manière suivante :

« Cependant, cette critique n'explique pas l'extraordinaire consistance des résultats de Miller avec le déplacement de la Terre autour du Soleil (voir les remarquables figures 23 et 28 des pages 232 et 237 de son article), elle n'explique pas les remarquables ajustements avec les phases concordantes en temps sidéral de la page 235. Elle n'explique pas plus les concordances entre les résultats de Miller et ceux d'Esclagon [...]. » [Allais, 1959.]

Science et incertitude

De même qu'il est difficile de prouver avec une certitude absolue (sans nouvelle expérience) que les résultats de Miller sont corrects, il vaut la peine de considérer que la situation opposée, un résultat absolument nul, comme cela est requis par la théorie d'Einstein, est encore plus difficile à établir avec certitude, dans la mesure où la non-existence d'un phénomène est toujours délicate à mettre en évidence. Par conséquent, le travail de Miller n'a pas besoin d'un avocat pour prouver son innocence mais la partie adverse doit plutôt essayer d'établir sa culpabilité¹².

L'incertitude qui entache les observations de Miller ne diminue pas du tout leur importance, bien au contraire. La détection expérimentale de petits écarts par rapport à des résultats attendus est au cœur même de la science et constitue la base de son progrès. Elle est toujours entachée d'incertitude.

La détermination par Kepler de la petite différence qui existe entre l'orbite terrestre et un cercle parfait est un cas d'école¹³. Une analyse statistique des données de Tycho Brahe et des considérations concernant l'effet sur ses instrument métalliques du froid horrible des nuits hivernales sur l'île de Hven au Danemark, auraient pu fournir à Kepler des raisons plausibles pour ignorer les petites variations angulaires à partir desquelles il a construit toute son astronomie. Comme chaque élève l'apprend à l'école, la différence entre le grand axe et le petit axe de l'orbite terrestre autour du Soleil est de l'ordre d'un pour mille. Elle n'est pas

visible à l'œil nu sur un dessin à l'échelle, et ne le serait pas davantage à partir d'une séquence de photographies prises depuis un vaisseau spatial gravitant au-dessus du disque du système solaire. Un test de reproductibilité n'était pas possible. Bref, du point de vue des standards que beaucoup d'autorités scientifiques voudraient appliquer aujourd'hui, les bases expérimentales de l'astronomie de Kepler n'étaient pas valables à l'époque où il la développa ! La même chose se vérifie pour la plupart des découvertes les plus importantes de l'histoire de la chimie dont la preuve reposait sur des observations d'une finesse extrême, à la limite de la précision associée à l'instrument de mesure. On pourrait citer comme exemple les premiers travaux d'Antoine Lavoisier visant à déterminer le taux des impuretés présentes dans l'eau.

La découverte scientifique n'a jamais connu la certitude infaillible que lui attribuent si souvent les manuels scolaires et les ouvrages de vulgarisation. Comme tous les exercices créatifs de l'esprit, elle est pleine d'incertitude, d'ambiguïté et de subjectivité. C'est une bataille permanente, menée trop souvent contre une grande adversité. Son résultat ne repose pas sur un vote à la majorité, sur l'opinion populaire ou un consensus. Le timide, le faible de caractère et celui qui recherche les honneurs ou la reconnaissance du public de son vivant feraient mieux de s'en tenir éloignés. Et si cela doit disqualifier la grande majorité de nos spécialistes, y compris ceux qui sont couverts de décorations académiques, eh bien qu'il en soit ainsi !

La contribution de Maurice Allais

La beauté et le génie du travail de Maurice Allais en physique réside dans le fait qu'il reconnaît l'existence nécessaire d'une anomalie dans notre compréhension de la propagation de la lumière, et qu'il cherche à découvrir sa signification en étendant la recherche dans le domaine de la gravitation. Dans le n°69 de *Fusion*, nous avons malheureusement dû nous limiter à une présentation de son analyse des expériences de Day-

ton Miller. Nous espérons être en mesure de présenter la suite de ses travaux dans un proche avenir.

Pour résumer en quelques mots son travail, nous dirons que M. Allais a trouvé que des anomalies dans le mouvement du pendule de Foucault et dans un pendule possédant un degré de liberté de rotation supplémentaire (pendule paraconique), présentaient un caractère périodique inexplicable par la théorie de la gravitation. Il découvrit une périodicité identique dans des anomalies relevées sur des visées réciproques sur mires réalisées à partir de deux théodolites alignés sur un axe nord-sud. Il établit ainsi un lien légitime entre les domaines séparés de la mécanique et de l'optique. Cela le conduisit à proposer une vérification expérimentale de l'hypothèse selon laquelle des observations simultanées sur le pendule paraconique, sur les visées réciproques des théodolites et sur l'interféromètre de Michelson conduiraient à une coïncidence d'effets. M. Allais, qui est âgé de 86 ans, n'a pas encore eu la joie de voir cette prévision mise à l'épreuve.

Recherches apparentées

Dans son rapport de 1933, Dayton Miller donne un résumé de certaines recherches apparentées dont il estimait qu'elles confirmaient le mouvement cosmique similaire qu'il avait détecté. Elles pourraient également être interprétées du point de vue de M. Allais comme mettant en évidence une *anisotropie optique de l'espace*.

A l'époque où Miller menait ses expériences, le directeur de l'Observatoire de Paris, Ernest Esclançon,

faisait des études poussées sur les déformations périodiques de la croûte terrestre (marées terrestres). Elles suggéraient l'existence d'un mouvement du système solaire dans le plan du méridien de temps sidéral de 4 et 16 heures. Esclançon étudia également des anomalies dans la réflexion de la lumière qui, conclut-il, étaient la preuve d'une « *dissymétrie optique de l'espace* » autour d'un axe se trouvant dans le méridien de 8 et 20 heures. Allais fait également référence aux travaux d'Esclançon.

Des observations réalisées à l'époque des travaux de Miller sur l'intensité des rayons cosmiques montrèrent clairement un maximum dans le méridien sidéral de 5 et 17 heures. Des études sur les mouvements galactiques et des anomalies dans des observations astronomiques sont également citées. Pour finir, les travaux de Karl Jansky des laboratoires Bell Telephone montrèrent en 1933 l'existence d'un sifflement sonore dans la réception des ondes radio courtes provenant d'une direction cosmique selon le méridien sidéral de 18 heures.

Nous n'avons pas trouvé de relevé systématique de travaux plus récents.

A propos de l'auteur

Laurence Hecht, éditeur associé de notre confrère *21st Century*, a été condamné à 33 ans de prison dans l'Etat de Virginie et se trouve actuellement dans sa cinquième année de détention. Il a été condamné au cours d'un jugement qui eut lieu en janvier 1991, dans la ville tristement célèbre de Salem, en Virginie, suite à une chasse aux sorcières menée à l'échelle des Etats-Unis contre les collaborateurs politiques de Lyndon LaRouche. Tous les appels ont été rejetés. Une campagne internationale est en cours pour obtenir la réhabilitation de LaRouche ainsi que la libération de Hecht et de trois autres prisonniers, tous condamnés à de longues peines pour des raisons politiques.

Notons tout de même les récentes recherches des astronomes Nodland et Ralston¹⁴. En étudiant la rotation du plan de polarisation des ondes radio provenant de sources cosmiques, ils ont trouvé une autre anisotropie. L'axe d'anisotropie se trouve dans une direction située entre les constellations de l'Aigle et Sextant avec une ascension droite de 21 et 7 heures ± 2 et une déclinaison $0^\circ \pm 20^\circ$.

Cette direction peut être considérée comme perpendiculaire au sommet du mouvement cosmique déterminé par Miller. ■

Notes

1. Augustin Fresnel, *Mémoire sur la diffraction de la lumière*.

La conception de la propagation, élaborée par Huygens et Leibniz, en tant que phénomène autoreproducteur est beaucoup plus développée que ne le reconnuent ultérieurement de nombreux partisans de la théorie ondulatoire. Le débat moderne sur le sujet tend à se focaliser sur deux autres problèmes : d'une part, l'existence ou non d'un milieu de transmission et, d'autre part, le dualisme onde-particule. Dans les deux cas, le problème de ce qui se passe entre la transmission et la réception est généralement passé au fil du rasoir d'Occam. On a introduit l'hypothèse de l'action linéaire continue tout en ignorant ce qui fait la force de l'optique moderne : la reconnaissance par Fresnel que la puissance efficiente vient d'un mode de propagation non linéaire autoreproducteur, connu sous le nom de principe de Huygens.

2. Laurence Hecht, « La portée scientifique de la correspondance de 1845 entre Gauss et Weber », *Fusion*, n°66, mai-juin 1997.

3. Bernhard Riemann, « Philosophical Fragments », in *21st Century*, hiver 1995-1996, p. 50 ; et « Sur les hypothèses qui servent de base à la géomé-



L'anisotropie de l'espace

**Vous pouvez commander
le livre de Maurice Allais
(750 pages, 280 F)
aux Editions Clément Juglar,
62 av. de Sufresne, 75015 Paris,
Tél. 01.45.67.58.06.**

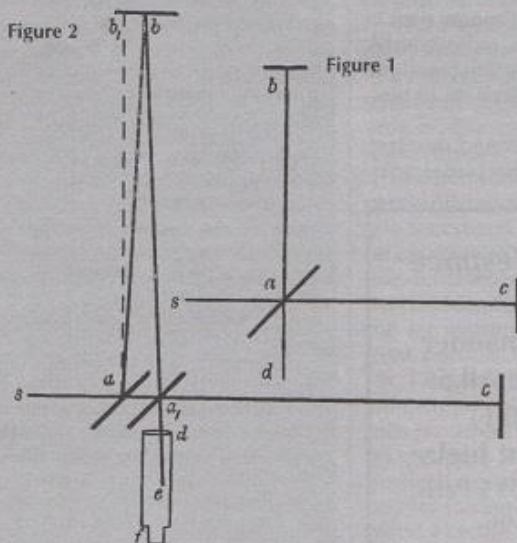
trie », in *Cœuvres mathématiques*, Ed. Jacques Gabay, 1990.

4. L'histoire de la physique telle qu'on l'enseigne aujourd'hui repose sur une mystification historique sans cesse rebattue. Il s'agit de la contribution attribuée à Maxwell concernant l'interprétation de la constante de Weber déterminée par Weber et Kohlrausch en 1854 (qui désigne aujourd'hui de manière erronée le rapport de l'unité d'action électromagnétique à l'unité d'action électrostatique). Dans une lettre de 1853 à son frère, Riemann, qui assistera à cette célèbre expérience l'année suivante, avait déjà prédit la similitude de la vitesse de la lumière avec la vitesse de propagation de l'action électrodynamique. Weber, précédé dans sa publication par Gustav Kirchhoff, démontra dès 1857 la propagation théorique d'une onde électrique dans un conducteur électrique à la vitesse de la lumière. Alors que Riemann et ses associés s'efforcèrent d'élaborer une conception unifiée de la gravité, de l'électricité et du magnétisme, l'acceptation du réductionnisme mécaniste de Maxwell ruina tout espoir d'atteindre cet objectif.

5. E.T. Whittaker, *A History of the Theories of the Ether and Electricity*.

6. L'expérience de Michelson fut le second défi sérieux de l'époque lancé par les Américains à l'autorité scientifique britannique. Le premier fut le travail d'Edwin Herbert Hall et d'Henry Augustus Rowland qui déboucha sur la découverte de la force électrique latérale appelée *effet Hall*. Le rapport de Hall sur cette découverte, « On a New Action of the Magnet on Electric Currents », présente ses doutes et ceux de Rowland sur le bien-fondé de l'affirmation de Maxwell selon laquelle un aimant agit « non sur le courant électrique [dans un conducteur] mais sur le conducteur qui en est parcouru ». Leur expérience prouva que Maxwell se trompait et établit l'existence d'une force agissant sur un courant électrique, perpendiculairement à celui-ci, lorsque le courant se déplace dans un plan perpendiculaire à la ligne reliant le pôle nord et le pôle sud d'un aimant.

7. Pour déterminer la différence entre les deux chemins *aba* et *aca*, Michelson montre dans son article de 1887 que si l'on appelle :
 V : la vitesse de la lumière,
 v : la vitesse de la Terre sur son orbite,
 D : la distance *ab* ou *ac* sur la figure 1,
 T : le temps mis par la lumière pour aller de *a* à *c*,
 T' : le temps mis par la lumière pour aller de *c* à *a'* (Figure 2),
 alors $T = D/V - v$ et $T' = D/V + v$.



Le temps total pour l'aller et le retour est : $T + T' = 2DV/(V^2 - v^2)$, et la distance parcourue pendant ce temps est $2DV^2/(V^2 - v^2)$ ou encore $2D(1 + v^2/V^2)$, en négligeant les termes du quatrième ordre.

La longueur de l'autre chemin est à l'évidence égale à $2D\sqrt{1 + (v^2/V^2)}$, ce qui donne avec le même ordre de précision : $2D(1 + v^2/2V^2)$. La différence est par conséquent égale à $D(v^2/V^2)$.

Si l'ensemble de l'appareil est ensuite tourné de 90° , cette différence aura lieu dans l'autre sens et donc le déplacement des franges d'interférence sera donc de $2D(v^2/V^2)$. Si l'on ne tenait compte que de la vitesse de la Terre sur son orbite, ce déplacement devrait être égal à $2D \cdot 10^{-8}$. Si, comme c'est le cas pour la première expérience, $D = 2 \cdot 10^4$ longueurs d'onde de lumière jaune, le déplacement attendu sera égal à 0,04 fois la distance entre les franges d'interférence [Michelson, 1887, p. 336.]

8. C. Seegers, 1864, *De motu perturbationibusque planetarum secundum legem electrodynamicam Weberianam solem ambientium*, Göttingen.

9. F.F. Tisserand, 1872, « Sur le mouvement des planètes autour du Soleil d'après la loi électrodynamique de Weber », (Paris, *Compte rendu*, 30 septembre), Paris.

9. Hecht, *op. cit.*

10. Pour une traduction française de cette correspondance, voir *Fusion* n°66.

11. Carl F. Gauss, 1832, *Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata*.

12. En ce qui concerne la difficulté expérimentale de vérifier un résultat nul, on peut mentionner un précédent intéressant dans l'histoire de la physique moderne. Quand Wilhelm Weber s'efforça de mettre en évidence la force angulaire électrodynamique d'Ampère, il attribua la faiblesse du travail d'Ampère au fait que sa preuve expérimentale reposait sur des résultats nuls : la *non-apparition* d'un mouvement dans certaines configurations de conducteurs parcourus par des courants électriques. Weber fit remarquer qu'il était possible que des effets tels que la friction puissent masquer de très petites forces qu'Ampère aurait pu ne pas prendre en considération. Grâce à l'aide de Gauss, Weber put concevoir une expérience qui lui permit de mesurer l'interaction électrodynamique avec une telle précision que la force angulaire d'Ampère fut établie avec une preuve positive.

Voir Wilhelm Weber, 1846, « Elektrodynamische Maasbestimmungen : über ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung », *Wilhelm Webers Werke*, Julius Springer, (1893), Berlin.

13. Jonathan Tennenbaum, « How Gauss Determined the Orbit of Ceres », *Fidelio*, été 1998.

14. David Cherry, Charles Stevens, « Does Light Travel Faster in the Earth-Sextans Direction ? » et les interviews de Nodland et Ralston, in *21st Century*, été 1997, p. 72.

Bibliographie

Maurice Allais, 1959, « Should the Laws of Gravitation Be Reconsidered (Part II) », *AeroSpace Engineering*, vol. 18, n°10, oct., pp. 51-55.

Albert A. Michelson, 1881, « The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether » *Am. J. Sci.*, vol. 3, n°22, p. 120.

Albert A. Michelson, Edward W. Morley, 1887, « On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether », *Am. J. Sci.*, vol. 3, n°34, p. 333.

Dayton C. Miller, 1933, « The Ether-Drift and the Determination of the Absolute Motion of the Earth », *Rev. Modern Phys.*, vol. 5, p. 203 (juillet).

R.S. Shankland, S.W. McCuskey, F.C. Leone, G. Kuerti, 1955, « New Analysis of the Interferometer Observation of Dayton C. Miller », *Rev. Modern Phys.*, vol. 27, p. 167.