

La « Démonstration expérimentale de la loi générale d'interférence de la lumière », selon Thomas Young

Olivier Morizot (olivier.morizot@univ-amu.fr)

Université Aix-Marseille, CNRS, Centre Gilles Gaston Granger,
Maison de la Recherche, 29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence Cedex 1

Le 12 novembre 1801, Thomas Young présente devant la Royal Society la Conférence Bakerienne sur la Théorie de la Lumière et des Couleurs, dans laquelle il introduit sa fameuse loi des interférences lumineuses. Constatant toutefois les difficultés de sa théorie à convaincre ses contemporains, Young publie deux ans plus tard une « démonstration expérimentale de [sa] loi générale des interférences lumineuses » aujourd'hui tombée dans l'oubli. Le présent article a pour ambition de la commémorer, puis de l'utiliser comme support d'une réflexion sur le pouvoir démonstratif de l'expérience en physique.

La loi générale des interférences

Thomas Young (1773-1829) présente en novembre 1801 à la Royal Society de Londres une *Théorie de la Lumière et des Couleurs* [1] qui décrit la lumière comme la conséquence d'ondulations périodiques d'un éther imprégnant l'univers tout entier, susceptibles de procurer une sensation visuelle par la mise en vibration plus ou moins ample de trois types de fibres nerveuses câblées à notre rétine. À chaque composante du spectre de la lumière blanche est ainsi associée une longueur d'ondulation, dont Young montre que l'on peut déduire la valeur directement des données de l'expérience des anneaux colorés fournies par Newton lui-même [2], à condition de considérer ces anneaux alternativement sombres et lumineux comme le fruit de la recombinaison de deux ondulations d'éther de même longueur d'ondulation, ayant suivi dans la lame deux chemins différents. Ce n'est là que l'une des multiples applications que Young propose de ce que nous appelons « principe des interférences », mais qu'il introduit alors

comme une simple « proposition », puis quelques mois plus tard comme une « loi générale »^(a), selon laquelle « partout où deux portions de la même lumière arrivent à l'œil par différentes routes, exactement, ou presque, dans la même direction, la lumière devient la plus intense lorsque la différence des routes est un multiple quelconque d'une certaine longueur, et la moins intense dans l'état intermédiaire des portions qui interfèrent ; et cette longueur est différente pour des lumières de couleurs différentes »^(b) [4].

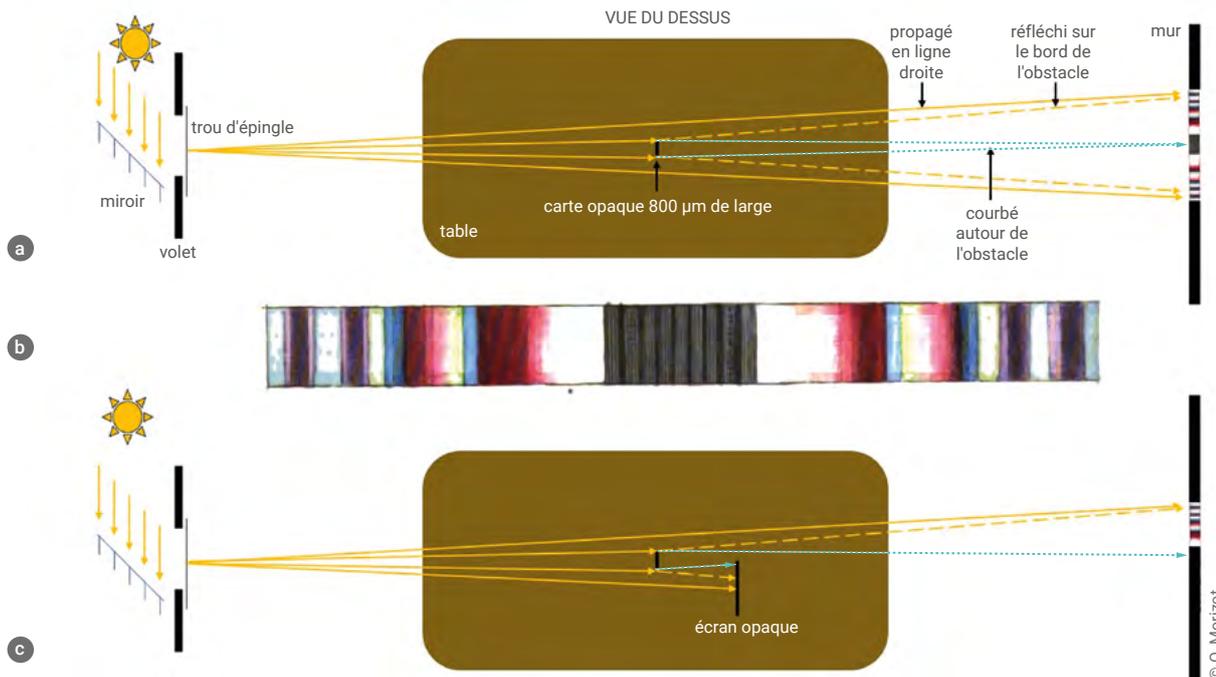
Aussi évidente qu'elle nous paraisse *a posteriori*, la proposition de Young peine cependant à convaincre la communauté scientifique britannique de l'époque, unanimement favorable à l'opinion que la lumière est composée de projectiles se déplaçant par inertie en ligne droite à vitesse constante, mais susceptibles d'être déviés, et ralentis ou accélérés, par des forces de courte portée exercées sur eux depuis la surface des corps matériels, et responsables des phénomènes de réflexion, de réfraction et d'inflexion. La théorie de Young est d'autant plus froidement reçue que cette optique des projectiles s'articule parfaitement à la



Thomas Young par Thomas Lawrence

© wikipedia

mécanique céleste newtonienne, qu'elle a produit au cours du siècle passé des résultats remarquables, et qu'elle dispose de longue date d'une batterie d'arguments, avancés par Newton lui-même [2], pour discréditer tout type de théorie des vibrations de l'éther [5]. Beaucoup estiment donc que Young défend des thèses depuis longtemps réfutées, que sa théorie a le tort impardonnable d'être introduite par des hypothèses et qu'elle n'est légitimée par aucune expérience nouvelle. Pourtant, il est majoritairement considéré à l'époque que toute connaissance ne peut émerger que de l'expérience, par induction.



1. a) En traits jaunes continus, rayons propagés en ligne droite ; en tirets jaunes, rayons diffractés vers l'extérieur de l'obstacle, que Young suppose réfléchis par son bord et produire les franges extérieures à l'ombre en interférant avec les rayons directs ; en pointillés bleus, des rayons infléchis de chaque côté de l'obstacle produisent les franges observables dans son ombre. La figure d'interférence obtenue sur le mur est illustrée en b) : « Les franges externes vues de chaque côté de l'ombre d'un cheveu ou d'un fil, qui est également divisée par ses franges internes » [7, fig. 446]. c) Lorsque l'une des deux portions de lumière contournant l'obstacle est interrompue par un écran opaque, les franges externes du côté correspondant et les franges intérieures à l'ombre disparaissent.

En conséquence, Young décide de marquer un silence plus prudent à l'égard de la nature ondulatoire de la lumière et s'efforce ensuite de convaincre plutôt la communauté de la véracité de sa loi des interférences^(c). Il espère que l'incapacité de ses opposants à l'articuler à l'hypothèse des projectiles les forcera à adopter celle des ondulations de l'éther. Pour cela, il montre dans un premier temps que sa loi est également capable d'expliquer deux nouveaux phénomènes colorés, jusqu'alors inobservés [3]. Puis, dans une dernière conférence en 1803, Young avance une « preuve si simple et si démonstrative de la loi générale de l'interférence de deux portions de lumière [...] que même la personne la plus chargée de préjugés ne saura nier que cette assertion est prouvée par les expériences » [6], preuve reproduite ci-dessous.

« Démonstration expérimentale de la loi générale d'interférence de la lumière »

« J'ai réalisé un petit trou dans le volet d'une fenêtre et l'ai recouvert d'un morceau de papier épais que j'ai perforé avec une aiguille

fine. Pour une plus grande commodité d'observation, j'ai placé un petit miroir à l'extérieur du volet, dans une position telle qu'il réfléchissait la lumière du Soleil dans une direction presque horizontale sur le mur opposé et qu'il faisait passer le cône de lumière divergente au-dessus d'une table sur laquelle se trouvaient plusieurs petits écrans de papier cartonné. J'ai inséré dans le faisceau de rayons du Soleil un bout de carte d'environ un trentième de pouce de large et observé son ombre, soit sur le mur, soit sur d'autres cartes maintenues à différentes distances. En plus des franges de couleurs de part et d'autre de l'ombre, l'ombre elle-même était divisée par des franges parallèles similaires, de plus petites dimensions, différant en nombre selon la distance à laquelle l'ombre était observée, mais laissant le milieu de l'ombre toujours blanc. Ainsi ces franges étaient-elles les effets conjoints des portions de lumière passant de chaque côté du bout de carte et infléchies, ou plutôt diffractées, à l'intérieur de l'ombre. Car, un petit écran ayant

été placé à quelques pouces de la carte de manière à recevoir à sa marge l'ombre de l'un de ses bords, toutes les franges qui avaient jusque-là été observées dans l'ombre sur le mur disparurent immédiatement, bien que la lumière infléchie de l'autre côté continuât de poursuivre son trajet et bien que cette lumière ait dû subir toute modification que la proximité de l'autre bord du bout de carte ait pu être capable de lui occasionner. Quand l'écran interposé était plus éloigné du bout de carte étroit, il était nécessaire de le plonger plus profondément à l'intérieur de l'ombre pour éteindre les lignes parallèles ; car ici la lumière diffractée depuis le bord de l'objet était entrée plus avant dans l'ombre, dans son cheminement vers les franges. Ça n'était pas non plus par défaut d'intensité de lumière suffisante que l'une des deux portions était incapable de produire les franges à elle seule ; car lorsqu'elles étaient toutes deux interrompues, les lignes apparaissaient même lorsque la lumière était réduite à un-dixième ou un-vingtième. » [6] (fig. 1)

>>>

>>>

Ce que l'expérience a de neuf

Une lecture trop hâtive, ou trop rétrospective, de cette expérience risquerait d'en éclipser l'intérêt, tant elle paraît simple – pour ne pas dire simpliste –, peu systématique, dénuée de mesure, et tant son résultat nous est aujourd'hui évident. Pourtant, il ne faut pas s'y tromper : si après avoir justifié tant de phénomènes optiques par sa loi des interférences, Young ouvre le dernier assaut pour sauver sa théorie vibratoire de la lumière par une nouvelle expérience dont il affirme qu'elle est une *démonstration* de la loi, et si on lui demande de présenter cette expérience à l'occasion d'une Conférence Bakerienne à la Royal Society, c'est qu'elle devait avoir une valeur appréciable à l'époque. Celle-ci ne peut être comprise que si on l'analyse dans son contexte historique, c'est-à-dire si l'on se met en condition de ne l'interpréter qu'à la lumière des connaissances disponibles à l'époque, en occultant ce qui a été découvert depuis.

Certes, Young avait jusque-là mis en évidence la capacité de sa loi à justifier d'une impressionnante série de phénomènes lumineux, anciens ou nouveaux, par la prise en considération de la différence de longueur entre deux chemins distincts empruntés par deux « portions » de lumière issues d'une même source. Cependant, si l'on considère ensemble ces phénomènes et leurs explications, on remarque que l'existence même de ces deux chemins que pouvait emprunter la lumière n'était alors qu'une projection théorique qui ne pouvait jamais être vérifiée, ni observée directement. Il est en effet impossible de *voir* les deux chemins de la lumière causant les anneaux de Newton, ou les couleurs des bulles de savon, des réseaux périodiques, des lames épaisses [1], des lames mixtes, ou des halos que l'on voit autour du Soleil à travers le brouillard [4]. Il est aussi impossible de supprimer la lumière réfléchi sur une des surfaces de la bulle, de la lame mince, ou d'un cheveu de manière à faire successivement disparaître et reparaitre ces phénomènes. Il était donc bien légitime de rester insensible à l'interprétation que proposait Young de ces phénomènes. En effet, pour y souscrire, il fallait non seulement s'efforcer de suivre son raisonnement en

faisant avec lui le pari de la pertinence de sa loi des interférences – si intimement liée à son improbable hypothèse vibratoire de la lumière – mais il fallait également accepter de considérer et de suivre ces différents *chemins* qu'il avait imaginés, seul, pour celle-ci.

C'est donc là l'innovation, étonnamment simple si on la considère rétrospectivement, et pourtant essentielle à cet instant, qu'apporte Young en décrivant :

1. la mise en place d'un montage exhibant manifestement l'existence de deux chemins possibles pour la lumière ;
2. la mise en évidence d'un phénomène interférentiel produit par ce montage ;
3. le constat de sa disparition immédiate lorsque l'un des deux chemins est interrompu.

L'expérience en question peut sembler inaboutie, parce que l'on sait aujourd'hui qu'elle préfigure la célèbre expérience des « trous » (ou des « fentes »), que Young ne publiera discrètement que plus tard [7, vol. I : p. 464]^(d). Elle consiste en effet simplement à laisser entrer la lumière dans une chambre obscure par un trou minuscule ; à souligner l'apparition de franges lumineuses périodiques dans l'ombre d'une bande de carton étroite, qui font apparaître « le milieu de l'ombre toujours blanc » (fig. 1.b) ; à constater la disparition totale de ces franges lorsque la lumière passant d'un seul des deux côtés du carton est interceptée par un objet opaque placé en aval du carton. Par cette expérience, Young a bien compris que, pour la première fois, il donnait littéralement à *voir* les deux chemins empruntés par la lumière, et à *constater* incontinent l'effet dramatique de la suppression de l'un ou de l'autre d'entre eux. Enfin, en vérifiant que les franges restent visibles tant que la lumière est autorisée à passer des deux côtés de l'obstacle, même lorsque l'intensité de la source est divisée par dix ou par vingt, Young certifie que notre incapacité à les voir lorsque l'un des deux chemins est coupé n'est pas due à un simple défaut de luminosité.

Démontrer, ou montrer, expérimentalement

Reste à déterminer si cette expérience démontrait véritablement, ou non, la loi mobilisée par Young pour l'interpréter. De

fait, on sait depuis longtemps qu'aucune expérience ne peut jamais *valider* strictement une théorie, mais tout au plus la conforter temporairement, ou au contraire l'infirmier [8]. Et même alors, puisque toute expérience et son interprétation convoquent toujours un nombre considérable d'instruments et d'éléments de la théorie mise à l'épreuve, on ne peut jamais savoir rigoureusement laquelle ou lesquelles de ses hypothèses auront été mises en défaut par l'expérience. C'est donc toujours le système théorique dans sa globalité qui est véritablement invalidé expérimentalement [9]. Pourtant, non seulement n'abandonne-t-on probablement jamais en intégralité une théorie physique apparemment mise en défaut, mais celle-ci reste toujours autorisée en retour à résoudre l'anomalie, révélée en son sein par l'expérience dite cruciale, à l'aide de nouvelles hypothèses *ad hoc* [10].

Ainsi, si l'essentiel des théories optiques disponibles en 1803 étaient en effet incapables de prédire *a priori* l'apparition et la disparition de franges périodiques dans l'ombre d'un obstacle fin, cela n'a pas empêché certains partisans des projectiles d'élaborer de nouvelles hypothèses, compatibles avec leur propre système, justifiant après coup ce résultat. Presque tous admettaient déjà que la lumière pouvait être déviée par les obstacles qu'elle frôlait sous l'effet de forces attractives ou répulsives de très courte portée, exercées par les corps sur les projectiles lumineux [5]. Il leur restait alors seulement à expliquer la périodicité des franges observées dans l'ombre, et leur disparition lorsqu'un chemin était coupé. C'est ce que firent certains en attribuant à ces franges une origine purement physiologique : les projectiles lumineux, en percutant la rétine, y produisaient selon eux des vibrations mécaniques qui pouvaient interférer de façon constructive ou destructive, selon la durée séparant les impacts en un même point de la rétine de deux corpuscules consécutifs, passés par deux chemins différents – et donc donner simplement l'impression de voir un jeu de franges sombres et lumineuses. D'autres interprétaient ces franges comme la conséquence d'interférences directement entre ces forces optiques répulsives et attractives – plutôt qu'entre d'improbables ondulations de l'éther – d'autant plus aisément que l'expérience purement qualitative de Young leur

opposait peu de contraintes à contourner.

L'expérience proposée par Young ne soutenait d'ailleurs probablement pas la véracité de sa loi des interférences de manière aussi concluante qu'il l'espérait. Si cette loi annonçait ce qui se passerait si deux portions de lumière légèrement décalées en phase se recouvraient en un point quelconque, il n'est en effet pas clair que la théorie pouvait à ce stade prédire en quels points de l'espace, ni pourquoi, ces portions se recouvriraient [11]. Ce n'est en tout cas pas ce que fait Young dans ce texte, où il se contente d'observer les franges, avant de déterminer l'origine des deux portions de lumière qui les ont produites, au lieu de prédire l'existence de ces franges puis de la vérifier.

Un autre problème réside dans l'aspect purement qualitatif de cette expérience : ayant, par d'autres moyens, déterminé la longueur d'onde de différentes composantes monochromatiques de la lumière blanche [1], Young aurait dû pouvoir prédire la position et la dimension des franges à une distance donnée de l'obstacle par simple application de sa théorie. S'il l'avait fait et s'il avait vérifié cette prédiction expérimentalement, il aurait procuré à sa loi et à sa théorie la plus grande des confirmations que l'on est raisonnablement en mesure d'espérer d'une expérience. Mais il ne le fait pas. Au contraire, après avoir décrit l'expérience il conclut : « si nous procédons maintenant à l'examen des dimensions des franges dans différentes circonstances, nous pouvons calculer les différences de longueur des chemins parcourus par les

portions de lumière dont il a ainsi été démontré qu'elles étaient impliquées dans la production de ces franges » [6], suggérant ainsi qu'il n'est pas en mesure, sans cet appui expérimental, ni d'identifier ni de justifier *a priori* les chemins exacts qui devaient être empruntés par les deux portions de lumière avant leur interférence, ni de calculer leurs différences de marche en conséquence. Ainsi, quoi que Young déclare sa loi des interférences « prouvée par les expériences », sa démonstration expérimentale ne démontre – au sens logique du terme – ni sa loi ni la nature vibratoire de la lumière. Mais quelle expérience le pourrait ?

Il n'en reste pas moins que cette expérience revêt une importance historique car il s'agit bien d'une expérience de démonstration, au sens littéral de *monstration* que peut aussi recouvrir ce terme. D'ailleurs, comme le souligne M.N. Wise, « rendre les choses visibles c'est les rendre réelles, ou essayer de le faire » [12]. Or, Young avait certainement été sensibilisé au pouvoir performatif et persuasif de l'expérience « de démonstration » à l'occasion du cycle de plus de cinquante conférences de philosophie naturelle qu'il venait de délivrer par deux fois à la Royal Institution entre 1802 et 1803, au gré desquelles il avait développé quantité d'expériences illustra-

tives particulièrement visuelles à l'attention du grand public – comme celle des « trous d'Young », réalisée dans une cuve à eau et projetée au mur par un système de rétroéclairage [7].

Jusqu'à là, Young avait proposé une interprétation des anneaux de Newton, des couleurs des bulles de savon, ou de celles des ailes des insectes par sa loi des interférences, mais il était jusqu'alors impossible à ses contemporains d'y voir les différents chemins empruntés par la lumière avant d'interférer. Il leur était aussi impossible de constater visuellement les conséquences de l'interruption de l'un des chemins. Ils devaient donc suivre l'interprétation interprétative de Young d'un bout à l'autre, sans jamais avoir rien de tangible, ni de visible, à quoi s'accrocher – alors même que celle-ci articulait des entités qui leur étaient inconcevables. C'est pourquoi, en faisant preuve de pédagogie^(e) et en *montrant* enfin ces deux chemins de la lumière et les conséquences de leur interruption, Young – sans les *démontrer* – pouvait finalement espérer les rendre « réels », ou tout du moins plausibles ; et déverrouiller ainsi les blocages psychologiques qui rendaient encore sa théorie ondulatoire inconcevable. Cela ne sera pas suffisant... mais c'est une autre histoire. ■

(a) C'est Fresnel qui parlera le premier de « principe des interférences » en attribuant d'ailleurs son introduction en optique à Young [3, p. 286].

(b) Les traductions de l'anglais proposées ici sont de l'auteur de l'article.

(c) Le fait que Young parle de « loi » des interférences n'est pas anodin, puisque si un « principe » est un énoncé général posé *a priori* qui n'a pas vocation à être remis en cause par l'expérience mais qui doit servir à l'interprétation de celle-ci, une « loi », elle, est un énoncé censément induit de l'expérience.

(d) Il est toutefois à noter que c'est une expérience fort semblable qui amènera Fresnel à sa première explication de la diffraction – à ceci près que celui-ci collera le papier interrompant l'un des chemins de la lumière directement au fil fin produisant les franges intérieures [3, p. 16].

(e) L'intérêt pédagogique de cette expérience telle qu'elle a été produite par Young, puis par Fresnel, pour introduire un premier modèle, à deux rayons, des interférences, a d'ailleurs été souligné par N. Kipnis [13].

1• T. Young, "The Bakerian Conference. On the Theory of Light and Colours", *Phil. Trans. of the Royal Society of London* **92** (1802) 12-48.

2• I. Newton, *Opticks: Or, a Treatise on the Reflexions, Refractions, Inflections, and Colours of Light*, Smith & Walford (1704).

3• A. Fresnel, *Œuvres complètes d'Augustin Fresnel*, éd. H. de Senarmont, E. Verdet et L. Fresnel, Imprimerie Impériale, vol. I (1866).

4• T. Young, "An account of some Cases of the production of Colours not hitherto described", *Phil. Trans. of the Royal Society of London* **92** (1802) 387-397.

5• G.N. Cantor, *Optics after Newton: Theories of light in Britain and Ireland 1704-1840*, Manchester Univ. Press (1986).

6• T. Young, "The Bakerian Conference. Experiments and Calculations relative to Physical Optics", *Phil. Trans. of the Royal Society of London* **94** (1804) 1-16.

7• T. Young, *A Course of Lectures in Natural Philosophy and Mechanical Arts*, 2 vols., Savage (1807).

8• K. Popper, *La logique de la découverte scientifique*, trad. N. Thyssen-Rutten, Payot (1973).

9• P. Duhem, *La théorie physique. Son objet, sa structure*, Rivière (1914).

10• I. Lakatos, "Falsification and the methodology of scientific research programs", in *Criticism and the Growth of Knowledge*, éd. I. Lakatos et A. Musgrave, Cambridge University Press (1970).

11• J. Worrall, "Thomas Young and the 'refutation' of Newtonian optics: a case-study in the interaction of philosophy of science and history of science", in *Method and Appraisal in Physical Sciences*, éd. C. Howson, Cambridge Univ. Press (1976) 107-179.

12• M.N. Wise, "Making Visible", *Isis* **97/1**, (2006) 75-82.

13• N. Kipnis, *Rediscovering Optics*, BENA Press (1992).

