

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Θ. ΜΕΤΣΙΟΣ

CHAPITRE V.

FRESNEL ET LE TRIOMPHE DE LA THÉORIE DES ONDULATIONS

Après que Huygens eût énoncé la théorie ondulatoire, Newton s'était efforcé de défendre la théorie de l'émission. Young avait introduit la notion d'interférence et Euler avait précisé celle de vibration. Un grand nombre d'hypothèses plus ou moins connues, indépendantes les unes des autres, régnaient donc. Il est probable que ceux qui se tenaient au courant des progrès en optique devaient avoir l'impression d'un manque d'unité bien opposé à la connaissance ordonnée d'une science parvenue à la maturité. Chaque fait expérimental découvert doit être expliqué dans chacune des théories. En effet, une hypothèse n'est valable qu'autant qu'elle permet d'interpréter le phénomène nouveau sans contrevenir à ses propres principes. C'est ainsi qu'au cours du XVIII^e siècle, Newton, pour ne pas abandonner la théorie de l'émission, supposait aux molécules de lumière des propriétés multiples et compliquées. Young ne parvenait pas à faire concorder tous les phénomènes connus. Malus, Biot et Arago éclaircissaient des points de détail mais personne ne parvenait à l'interprétation d'ensemble tant réclamée par l'esprit.

Ce fut l'œuvre immense de Fresnel (1788-1827) de réunir en une seule théorie le principe de Huygens et le principe des interférences. Il est d'autant plus remarquable que ce soit lui qui ait accompli ce travail de mise au point qu'il vivait loin de tout centre intellectuel et ne connaissait pas les travaux récents. Il retrouve tout seul à partir de 1815, ce que ses prédécesseurs et ses contemporains avaient découvert. Cette recherche continue et entièrement personnelle, son esprit précis et rigoureux lui permirent de généraliser les conceptions et de les simplifier à la fois.

Fresnel, gêné par les difficultés que présentait la diffraction dans la théorie de l'émission, aborde ce problème dès son premier mémoire, présenté pour le concours ouvert par l'Académie des Sciences en 1817, sur le sujet suivant : *Etude théorique et expérimentale des phénomènes d'interférence et de diffraction*. Il affirme que la lumière est produite par des vibrations périodiques, de durée très courte, de vitesse immense. Cette vitesse varie d'un milieu à l'autre. Les ondes lumineuses formées de vibrations sont capables d'interférer. A partir de cette base il reprend les phénomènes de réflexion et de réfraction. Il dirige alors ses expériences de manière à en tirer une théorie complète. Il l'exprime en détails dans son *Mémoire sur la diffraction* en 1818. Les franges de diffraction jouent un rôle fondamental dans l'élaboration de ce système. Il avait souvent remarqué que les franges intérieures à l'ombre du diaphragme, qu'il appelle simplement « franges internes », disparaissent si on colle sur le fil du rasoir (qui sert dans de multiples expériences) un carré de papier

noir. « C'est donc le croisement même de ces rayons
« qui produit les franges. On conçoit aisément que les
« vibrations de deux rayons qui se croisent sous un
« très petit angle, peuvent se contrarier lorsque les
« nœuds des unes correspondent aux ventres des au-
« tres » (1). Il reprend alors les expériences de Young
et retrouve ses idées en observant les anneaux par ré-
flexion et les anneaux par transmission, en refaisant
l'expérience de l'écran percé de deux trous qu'avait
imaginée Young. Pour éviter l'objection qui consiste
à attribuer un rôle prépondérant, dans le phénomène
ainsi observé, aux bords des trous, Fresnel fait alors
dans diverses conditions l'expérience bien connue des
deux miroirs faisant un angle obtus. Pour que les deux
rayons s'éteignent mutuellement par coïncidence des
nœuds et des ventres, il faut que les rayons aient la
même couleur, qu'ils soient issus du même point de la
source et qu'ils aient parcouru des distances inégales.
Mais cette différence entre les deux chemins parcourus
n'est pas unique, elle a pour valeur un nombre impair
de demi-longueur d'onde. La vérification de ce point
de théorie par des réseaux naturels grossiers donne la
mesure de la longueur d'onde.

Dans cette série de considérations Fresnel montre
une grande habileté dans le maniement théorique des
vibrations. C'est dans le même mémoire « sur la diffrac-
tion » que Fresnel donne les formules définitives qui
rendent compte, dans tous leurs détails, des franges qui
bordent l'ombre d'un corps. Ces formules contiennent

1. FRESNEL, *Œuvres complètes*, par Verdet. Imprimerie Impériale, t. I,
p. 16.

les célèbres « intégrales de Fresnel », dont le calcul était assez pénible. On est frappé par la précision avec laquelle les franges sont représentées par ces formules, où tout est déduit des principes sans introduction d'aucun terme empirique.

Quand la Commission de l'Académie discuta le mémoire, Poisson remarqua que les intégrales, dont l'auteur faisait dépendre le calcul des intensités de la lumière diffractée, pouvaient s'évaluer exactement, pour le centre de l'ombre d'un disque circulaire opaque et éclairé par un point lumineux. On trouvait un maximum de lumière au centre de l'ombre circulaire. Poisson présenta cette conséquence comme une condamnation des idées exposées dans le mémoire soumis au jugement de l'Académie. Fresnel, prévenu par Arago, fit l'expérience; le résultat fut rigoureusement conforme à celui du calcul de Poisson. Ses adversaires durent donc s'incliner devant son triomphe. Et ce sont les belles études de Fresnel sur la diffraction qui ont fait dire à Arago en 1830: « Quelles que soient les réserves qui s'imposent à nous lorsque nous nous hasardons à parler de nos successeurs, j'oserai affirmer que, sur le sujet de la diffraction, ceux-ci n'ajouteront rien d'essentiel aux découvertes dont Fresnel a enrichi la science » (1).

Non entièrement satisfait de ce nouveau progrès, Fresnel examine à nouveau les deux théories. Il abandonne tout à fait le point de vue géométrique qui régnait alors. Il est bien évident que tous les physiciens,

1. Cité par A. BOUTARIC, *La lumière et les radiations invisibles*. Flammarion, Paris, 1925, p. 54.

depuis Descartes, Newton et Huygens en particulier, ne pouvaient s'échapper de la géométrie ni de la mécanique qu'ils avaient longuement étudiées. Fresnel pense qu'il faut envisager la lumière comme la conséquence directe des vibrations successives d'un fluide élastique. Il faut supposer des séries nombreuses de vibrations et il spécifie qu'il faut composer les ondes des divers éléments non seulement à un instant donné, mais aussi les ondes antérieures et les ondes consécutives. Le mouvement transmis par une onde sphérique à un point extérieur se réduit au mouvement envoyé par une partie de l'onde. La propagation de la lumière en ligne droite se déduit facilement de cette remarque. Huygens avait pressenti ce raisonnement, mais pour parvenir à un résultat aussi simple, il fallait envisager la généralisation du principe des interférences. Si on admet cette considération, la réflexion et la réfraction en dérivent aussi immédiatement ainsi que les ombres dans les cas simples et dans le cas idéal où le corps opaque est limité par des bords rectilignes, infinis et parallèles entre eux, équidistants de la source lumineuse. Tous ces résultats sont applicables, non seulement aux milieux où la vitesse est constante mais encore aux cas généraux où la loi de la vitesse de propagation est connue.

Huygens, Malus et Arago avaient observé un certain nombre de phénomènes de polarisation et énoncé quelques lois. Biot croit en rendre compte en invoquant des oscillations périodiques des axes de polarisation. Young insiste sur l'analogie que présentent les anneaux de Newton dans l'air et les expériences d'Arago dans le quartz. Il imagine que les interférences doivent jouer

un rôle essentiel dans les deux cas, mais ne peut pas le déterminer. Fresnel reprend l'idée d'interférences mais fait intervenir aussi la modification de la lumière par la polarisation. De ses expériences il conclut que le faisceau ordinaire et le faisceau extraordinaire ne peuvent interférer ; deux faisceaux ayant subi deux doubles réfractions différentes n'interfèrent pas non plus.

Huygens avait donné une construction géométrique très simple et très élégante, à l'aide de laquelle on trouve dans toutes les directions et sous toutes les incidences la position du rayon extraordinaire, relativement au rayon dont la marche était déterminée par la loi de Descartes, dite des sinus ; rayon qui prit, à juste titre, le nom de rayon ordinaire. Il était parvenu à la découverte de sa construction ellipsoïdale en se basant sur des considérations empruntées à la théorie des ondes. Newton avait voulu substituer à la loi de Huygens d'autres règles qui ne se sont pas trouvées conformes aux faits. Wollaston (1766-1828) avait soumis à des expériences rigoureuses la vérité des principes donnés par le savant hollandais et les avait trouvés exacts (1). Malus traduisit en formules analytiques la construction de Huygens ; il compara la déviation des rayons extraordinaires déduite de cette formule aux nombres résultant d'expériences très précises, et l'accord fut toujours parfait. Un rayon de lumière se partage en deux rayons qui sont exactement de même intensité quelle que soit la position du cristal d'Islande qu'il traverse et dans laquelle la division s'est effec-

1. Cf. Edmond HOPPE, *op. cit.*, p. 333.

tuée ; mais il n'en est pas de même du cas où les rayons sortant d'un premier cristal sont analysés dans un second cristal identique. Si le second est situé, relativement au premier, de manière que les faces homologues soient parallèles, le rayon ordinaire n'éprouve en le traversant que la réfraction ordinaire et le rayon extraordinaire demeure exclusivement extraordinaire. La lumière naturelle, en traversant le premier cristal y a donc changé de nature. En effet, si en se dédoublant elle avait conservé ses propriétés primitives, le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire se seraient l'un et l'autre partagés en deux faisceaux en traversant le second cristal ; à la sortie de ce second cristal on aurait eu quatre images au lieu de deux. La première idée qui vint à l'esprit fut que la lumière naturelle se composait de parties susceptibles les unes d'éprouver la réfraction ordinaire, les autres d'éprouver la réfraction extraordinaire. Mais cette hypothèse fut renversée par une expérience bien simple ; en faisant faire au second cristal un quart de révolution sur lui-même, sans qu'il cessât de rester parallèle au premier, le rayon ordinaire y devenait extraordinaire et le rayon extraordinaire n'éprouvait plus cette fois que la réfraction ordinaire. Le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire, en sortant du premier cristal étaient donc identiques.

Fresnel étudie la polarisation et ramène toutes les expériences sur les interférences des rayons polarisés à trois cas fondamentaux :

1^o Deux rayons de lumière, polarisés dans un seul sens agissent l'un sur l'autre comme des rayons naturels, en sorte que dans ces deux espèces de lumière les phé-

nomènes d'interférence sont absolument les mêmes ;

2^o Deux rayons primitivement polarisés en sens contraires peuvent ensuite être ramenés à un même plan de polarisation sans néanmoins acquérir par là la faculté de s'influencer ;

3^o Deux rayons polarisés en sens contraires et ramenés ensuite à des polarisations analogues s'influencent comme des rayons naturels s'ils proviennent d'un faisceau primitivement polarisé dans un seul sens (1).

Fresnel abandonne alors la notion de vibrations purement longitudinales et suppose que la lumière polarisée peut consister en vibrations transversales. Cette hypothèse paraît absurde aux savants contemporains car elle s'oppose aux notions de mécanique dont ils ne pouvaient se libérer. Ampère, Young et Fresnel y pensaient sans oser le formuler. Cependant, en 1821, Fresnel insiste sur la différence essentielle entre le son et la lumière, il affirme que les vibrations sont transversales, c'est-à-dire parallèles aux surfaces d'onde, qu'elles sont parallèles ou perpendiculaires au plan de polarisation.

Il énonce simplement la loi de Malus en disant que « un rayon polarisé est équivalent à deux rayons de même phase polarisés dans deux plans perpendiculaires. Les vitesses des rayons sont liées par les mêmes relations que deux forces et leur résultante ». Toute espèce de lumière peut être obtenue par la combinaison de plusieurs lumières polarisées, les propriétés de la lumière polarisée sont générales, la composition et la décomposition des rayons se déduisent des lois mécaniques sur les mouvements.

1. FRESNEL, *op. cit.*, t. I, p. 53.

En admettant que la lumière est formée de deux rayons polarisés l'un dans le plan d'incidence, l'autre dans le plan perpendiculaire avec une différence de phase entre ces deux rayons, il ramène aux mêmes lois la réflexion de la lumière polarisée sur les deux surfaces d'une lame transparente et la polarisation chromatique. Les découvertes sur la polarisation chromatique semblent être dues en grande partie à Arago pour les expériences, à Fresnel pour l'interprétation, tandis que les recherches sur la polarisation circulaire sont de Fresnel seul. Il explique, après avoir expérimenté avec un miroir métallique recouvert d'une mince couche d'huile de térébenthiné, que la réflexion sur une surface métallique dépolarise la lumière car elle introduit une différence de phase entre le rayon polarisé dans le plan d'incidence et le rayon polarisé dans le plan perpendiculaire. La lumière monochromatique qui subit une série de réflexions totales et de doubles réfractions se comporte comme la lumière qui traverse des solides ou des liquides doués de pouvoir rotatoire (sans qu'il y ait absolument identité). Une lame mince cristallisée et un analyseur permettent d'obtenir toutes les sortes de vibrations, rectilignes, circulaires ou elliptiques.

Le spath d'Islande et le cristal furent les premiers corps biréfringents connus, mais peu à peu on reconnut qu'un grand nombre de substances jouissent des mêmes propriétés. Fresnel fait remarquer que la différence entre le rayon extraordinaire et le rayon ordinaire s'explique dans le cas où le cristal est symétrique par rapport à un axe et que les vibrations sont perpendiculaires au plan de polarisation ; il y a deux modes

de réfraction selon que le rayon suit l'axe ou non, toutes les directions perpendiculaires à l'axe étant équivalentes. Dans les biaxes, Fresnel découvre alors qu'il y a deux rayons extraordinaires, pas de rayon ordinaire; la construction se fait par la généralisation des ellipsoïdes de Huygens. Au point de vue mathématique, le problème est difficile. Fresnel prévoit l'importance de cette loi, il cherche une explication mécanique qui permettrait de la démontrer *a priori*. En se basant sur la réfraction conique, il formule les hypothèses que les vibrations de la lumière polarisée sont perpendiculaires au plan de polarisation et que, si les vibrations d'une onde plane sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe optique du cristal, les forces élastiques qu'elles développent ne diffèrent des forces élastiques développées par le déplacement parallèle d'une seule molécule que par un facteur constant indépendant de la direction particulière de l'onde (1). La première de ces hypothèses a été réfutée par Poisson, la seconde est fautive mais elles ont permis de grands progrès dans l'étude des propriétés de l'éther.

Les molécules d'éther doivent être telles que les vibrations lumineuses soient transversales et perpendiculaires au plan de polarisation et conservent leur force vive; qu'il y ait continuité dans les deux milieux de part et d'autre de la surface de séparation, l'indice de réfraction étant proportionnel à la racine carrée de la densité d'éther. Les intervalles entre les molécules d'éther sont très petits. Cet éther permet une hypothèse sur l'influence du mouvement dans les propriétés

1. FRESNEL, *op. cit.*, t. II, p. 564.

optiques. Dans leurs mouvements les corps entraînent une quantité d'éther égale à l'excès d'éther qu'ils contiennent par rapport à la quantité qui se trouverait dans le même volume vide de toute matière, et cette quantité est proportionnelle pour chaque substance à son pouvoir réfringent. L'éther est donc au repos dans le vide, presque au repos dans l'air ; les expériences de Fizeau et de Michelson ont vérifié cette hypothèse d'entraînement partiel par les corps réfringents.

Ces recherches sont lourdes de conséquences pour les idées que l'on a sur l'éther et sur la structure de la matière. Le phénomène des aberrations lumineuses avait été découvert par Bradley, qui les comparait au drapeau flottant au mât d'un bateau en mouvement. Arago pensait que la déviation serait différente dans un prisme de verre selon que la lumière le traverse dans le sens du mouvement de la terre ou dans le sens contraire. Il fit l'expérience en employant la lumière d'une étoile et n'observa aucune différence ; l'effet Doppler aurait pu gêner les observations, c'est pourquoi Fresnel conseilla de prendre une source terrestre. Fresnel interpréterait volontiers le phénomène en supposant que l'éther qui entoure la terre est entraîné par la terre, mais il deviendrait impossible d'expliquer l'aberration des étoiles dans cette hypothèse : « Je n'ai pu
« nettement concevoir ce phénomène qu'en supposant
« que l'éther passe librement au travers du globe et
« que la vitesse communiquée à ce fluide subtil n'est
« qu'une petite partie de celle de la terre » (1). Les lois

1. Lettre de FRESNEL à ARAGO, *Annales de Chimie et de Physique*, t. IX, année 1818, p. 58.

de la réflexion et de la réfraction restent donc inchangées pour les corps en mouvement, la vitesse de la lumière dans le milieu d'indice n , étant augmentée de la fraction $(1-n^2)v$ (v étant la vitesse du corps transparent). L'hypothèse que l'éther est plus lourd dans les milieux matériels a été souvent reprise ultérieurement. La connaissance de l'éther introduite par l'optique devient nécessaire pour l'électricité et nous permet d'entrevoir une corrélation merveilleuse entre la lumière et l'électricité, la lumière et la matière.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΘΑΛΕΡΖΟΓΛΟΥ